INDONESIA EMAS BERKELANJUTAN 2045

Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia

8

ENERGI

Editor: Sindu Daniarta & Nuralfin Anripa

Buku ini tidak diperjualbelikan.

LIPI

BRIN

BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL

INDONESIA EMAS BERKELANJUTAN 2045

Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia

8

ENERGI

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dilarang mereproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian
dari buku ini dalam bentuk atau cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

© Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang No. 28 Tahun 2014

All Rights Reserved

Buku ini tidak diperjualbelikan.

INDONESIA EMAS BERKELANJUTAN 2045

Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia

8

ENERGI

Editor: Sindu Daniarta & Nuralfin Anripa

LIPI Press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2021 Perhimpunan Pelajar Indonesia Dunia
Direktorat Penelitian dan Kajian PPI Dunia 2020–2021

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Indonesia Emas Berkelanjutan 2045: Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia Seri 8
Energi/Sindu Daniarta & Nuralfin Anripa (Ed.)–Jakarta: LIPI Press, 2021.

xxviii+ 261 hlm.; 17,6 x 25 cm
ISBN 978-602-496-207-4 (no. seri lengkap cetak)
978-602-496-215-9 (cetak)
978-602-496-220-3 (no. seri lengkap *e-book*)
978-602-496-228-9 (*e-book*)

1. Indonesia 2. Tujuan Pembangunan Berkelanjutan
3. Energi

330

Copy editor : Martinus Helmiawan dan Ira Purwo Kinanti
Proofreader : Sonny Heru Kusuma dan Nika
Penata isi : Landi Achmad dan Meita Safitri
Desainer sampul : Dhevi E.I.R Mahelingga

Cetakan Pertama : Juli 2021

Diterbitkan oleh:
LIPI Press, anggota Ikapi
Gedung PDDI LIPI, Lantai 6
Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta 12710
Telp.: (021) 573 3465
e-mail: press@mail.lipi.go.id
website: lipipress.lipi.go.id
LIPI Press
@lipi_press
lipi.press

Bekerja sama dengan:
Perhimpunan Pelajar Indonesia (PPI) Dunia
Mayapada Tower 1, Lt. 19,
Jln. Jend. Sudirman, Kav. 28,
Jakarta Selatan 12920
e-mail: kesekretariatan@ppi.id
website: ppi.id

Buku ini merupakan karya buku yang terpilih dalam Program Akuisisi Pengetahuan Lokal Tahun 2021 Balai Media dan Reproduksi (LIPI Press), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Daftar Isi

Daftar Gambar vii
Daftar Tabel xiii
Pengantar Penerbit xv
Kata Pengantar Koordinator PPI Dunia 2020–2021 xvii
Kata Pengantar Direktorat Penelitian dan Kajian PPI Dunia 2020–2021 xxii
Kata Pengantar Ahmad Agus Setiawan, Ph.D. xxiii
Prakata xxvii

Bab I Pendahuluan
Sindu Daniarta 1

SUBTEMA 1. DINAMIKA ENERGI DI INDONESIA SAAT INI DAN MASA DEPAN

Bab II Keadilan, Kedaulatan, dan Kemandirian Energi Indonesia
Putty Ekadewi 5

Bab III Dinamika Migas dan Panas Bumi di Indonesia
Naufaldy Obianka Putra, Reyhan Puji Putranto, & Sindu Daniarta 25

Bab IV Regulasi Migas dan Batu Bara Indonesia dalam Mencapai *Zero Carbon Footprint*
Rahel Eterlita 47

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Bab V Peran *Green Mining* di Indonesia dalam Rangka Mencapai *Net Zero Emission*
Dody Irawan & Ilham Putra Adiyaksa 61

SUBTEMA 2. TEKNOLOGI PERCEPATAN ENERGI TERBARUKAN DALAM BAURAN ENERGI INDONESIA 2050

Bab VI Ekosistem Energi Baru Terbarukan: Model Solutif Indonesia Bersinar
Naufaldy Obianka Putra 77

Bab VII Keberlangsungan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Indonesia sebagai Energi Bersih
Nuralfin Anripa 93

Bab VIII *Blueprint* Pemberdayaan Angin dan Matahari terhadap Geospasial Tropis Indonesia dalam Pasar Pemenuhan Listrik
Yohana Noradika Maharani 109

Bab IX Energi Listrik Terbarukan Sistem Hibrida dengan Panel Surya untuk Desentralisasi di Indonesia
David Setiawan Sanjaya 121

Bab X Optimisme *Biofuel* dalam Bauran Energi di Indonesia Menuju Indonesia Emas 2045
Rizky Gusti Pratiwi 137

Bab XI *Waste-to-Energy* Solusi Peningkatan Efisiensi Energi
Sindu Daniarta 153

Bab XII Pengembangan Baterai terhadap Kemandirian dan Ketahanan Pengelolaan Energi di Indonesia
Reyhan Puji Putranto 169

Bab XIII Teknologi *Power-to-Gas* sebagai Sarana Penyimpanan Energi Selain Baterai
Adam Pramana Fitrah 185

Buku ini tidak diperjualbelikan.

SUBTEMA 3. PERCEPATAN ENERGI TERBARUKAN UNTUK *SMART CITY*

Bab XIV Persiapan Indonesia dalam Menghadapi Perkembangan Kendaraan Listrik
Ghiffari Aby Malik Nasution 199

Bab XV *Smart City* dalam Pengembangan Energi Terbarukan dan Berkelanjutan di Indonesia
Parman 219

Bab XVI Penutup
Sindu Daniarta & Nuralfin Anripa 231

Daftar Singkatan 241
Indeks 249
Biografi Editor 251
Biografi Penulis 253
Struktur Direktorat Penelitian dan Kajian PPI Dunia 2020–2021 261

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Target dalam RUEN serta Realisasinya 12
Gambar 2.2 Perbandingan Kapasitas dan Produksi Energi Terbarukan 17
Gambar 2.3 Potensi dan Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan 18
Gambar 3.1 Produksi Migas Indonesia 27
Gambar 3.2 Cadangan Minyak dan Gas di Indonesia 28
Gambar 3.3 Realisasi Proyek Migas 29
Gambar 3.4 Target produksi minyak untuk mencapai program satu juta BOPD dan 12.000 MMSCFD 32
Gambar 3.5 Perkembangan Total Kumulatif Jaringan Gas Indonesia dari 2015–2020 34
Gambar 3.6 Alokasi Distribusi Pemanfataan *Lifting* Gas Indonesia 2020 35
Gambar 3.7 Peta Potensi Cadangan Gas Bumi Indonesia Tahun 2019 36
Gambar 3.8 Diagram Lindal Terkait Pemanfaatan Panas Bumi 38
Gambar 4.1 Konsumsi Energi Bahan Bakar Fosil 55
Gambar 5.1 *Road Map* CBM di Indonesia 70
Gambar 5.2 Proses Gasifikasi Batu Bara 71
Gambar 6.1 Sumber Produksi Listrik Dunia dari 1990–2018 78
Gambar 6.2 Persentase Generasi Listrik di Eropa 79

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Gambar 6.3 Persentase Generasi Listrik di Asia kecuali Tiongkok.....80
Gambar 6.4 Persentase Generasi Listrik Indonesia.....81
Gambar 6.5 Target Bauran Energi Indonesia 2050.....82
Gambar 6.6 Potensi Angin Area Maluku dan Sekitarnya.....85
Gambar 6.7 Potensi Angin Pulau Sumatra.....85
Gambar 6.8 Potensi Angin Pulau Kalimantan.....86
Gambar 6.9 Potensi Angin Nusa Tenggara dan Sekitarnya.....86
Gambar 6.10 Potensi Angin Pulau Jawa.....87
Gambar 6.11 Potensi Panel Surya di Indonesia.....87
Gambar 6.12 Potensi Panas Bumi Indonesia.....88
Gambar 7.1 Sasaran KEN (Kebijakan Energi Nasional)/RUEN.....94
Gambar 7.2 Peta Persebaran Uranium di Indonesia 100
Gambar 7.3 Daya Produksi PLTN per Negara 102
Gambar 8.1 Hamparan Panel Surya di Desa Wineru, Kecamatan Likupang Timur, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara 113
Gambar 8.2 Peta Potensi Energi Surya di Wilayah Indonesia 114
Gambar 8.3 Peta Sebaran Potensi Energi Angin di Wilayah Indonesia di Atas Kecepatan 4 m/s 115
Gambar 9.1 Grafik Waktu Empat Generasi Perangkat Panel Surya 122
Gambar 9.2 Potensi EBT di Indonesia..... 128
Gambar 9.3 Rekomendasi Penerapan Sistem Hibrida 134
Gambar 10.1 Data Perkembangan Luas Areal Perkebunan Kelapa Sawit (a) dan Perkembangan Produksi CPO (b) di Indonesia..... 141
Gambar 10.2 Realisasi Implementasi Biodiesel 146
Gambar 10.3 Proyeksi Pasokan Energi Primer dan Energi Baru Terbarukan (EBT) Tahun 2025 dan 2050 147
Gambar 11.1 Skema Proses *Recycle* Panel Surya..... 157
Gambar 11.2 Pembangkitan Energi dari Limbah atau Sampah 159
Gambar 11.3 Hubungan Teknologi, Lingkungan Hidup, Ekonomi dan Sosial untuk Penerapan *Waste-to-Energy* 163

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Gambar 12.1 Permintaan Global Logam Nikel Tahun 2020 dan Prediksi 2040 171
Gambar 12.2 Variasi Sistem Penyimpanan Energi (kiri) dan Parameter Penggunaan (kanan) Terhadap Tingkat Daya Listrik serta Waktu Pengisian Ulang Baterai 172
Gambar 12.3 Ilustrasi Penggunaan Daya Listrik (*charge*) Pengisian Ulang (*discharge*) Baterai dan Jenis Bentuk Baterai 174
Gambar 12.4 Konsep *Virtual Power Lines* (VPLs) 178
Gambar 12.5 Perkembangan Komoditas Produk Berbasis Sistem Baterai 179
Gambar 12.6 Kelimpahan Sumber Daya Nikel Indonesia Tahun 2010–2040 179
Gambar 13.1 Target Bauran Energi Primer Tahun 2020–2050 188
Gambar 13.2 Skema Implementasi PtG Secara Umum 190
Gambar 14.1 Grafik Produksi dan Konsumsi Minyak Indonesia 200
Gambar 14.2 Konsumsi Energi per Sektor Indonesia 200
Gambar 14.3 Komponen Utama Mobil Listrik..... 203
Gambar 14.4. Kapasitas terpasang di Indonesia 2011–2019 205
Gambar 14.5. Energi terjual per kelompok pelanggan 2019..... 206
Gambar 14.6 Emisi CO_2 di Indonesia 2007–2016 212
Gambar 14.7 Perbandingan Emisi CO_2 Mobil Listrik dan Mobil Konvensional 212
Gambar 15.1 Model *Smart City* 220
Gambar 15.2 Strategi Penerapan Energi Netral..... 229

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Daftar Tabel

Tabel 3.1 Data Gas Alam Indonesia 2009–2019 dalam Miliar Meter Kubik 36

Tabel 9.1 Potensi EBT di Indonesia oleh PLN 127

Tabel 9.2 Jenis-Jenis Panel Surya Berdasarkan Material dan Karakter 128

Tabel 9.3 Kelebihan dan Kekurangan Berdasarkan Jenis Panel Surya 129

Tabel 10.1 Potensi Bahan Baku *Biofuel* Indonesia 140

Tabel 12.1 Daftar Produk Kendaraan Listrik dengan Jenis Baterai dan Perusahaan Tempat Produksi Baterai (*Original Equipment Manufacturer*/OEM) pada 2019 176

Tabel 14.1 Kondisi Kelistrikan Indonesia 2011–2019 205

Tabel 14.2 Perhitungan Kebutuhan Energi Mobil Listrik 207

Tabel 14.3 Perhitungan Konsumsi Energi Listrik di Luar Waktu Beban Puncak 208

Tabel 14.4 Perhitungan Kebutuhan Energi Mobil Listrik per Tahun di Luar Waktu Beban Puncak 209

Tabel 14.5 Perbandingan Biaya Operasional Mobil Listrik dan Konvensional 211

Tabel 15.1 Penggerak *Smart City* dalam Transisi 223

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Pengantar Penerbit

Sebagai penerbit ilmiah, LIPI Press mempunyai tanggung jawab untuk menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Upaya tersebut merupakan salah satu perwujudan tugas LIPI Press untuk turut serta mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Buku bunga rampai ini merupakan satu dari 12 seri buku hasil pemikiran para pelajar Indonesia yang sedang menempuh studi di luar negeri, dengan tujuan untuk menggariskan konsep "Indonesia Emas Berkelanjutan 2045". Isu yang dibahas adalah *Sustainable Development Goals* (SDGs) disertai dengan analisis dan rekomendasi untuk meraih "Indonesia Emas Berkelanjutan 2045". Kelebihan bunga rampai ini adalah memiliki perspektif lintas disiplin.

Seri Energi berbicara tentang ilmu dan teknologi apa saja yang dapat diterapkan di Indonesia berbasis pada SDGs nomor Tujuh, yakni mengenai energi bersih dan terjangkau. Di antaranya mengupas tentang pembangkit listrik energi terbarukan, pertambangan hijau, dan *smart city*.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku bunga rampai ini.

LIPI Press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Kata Pengantar Koordinator PPI Dunia 2020–2021

Perjalanan sejarah bangsa Indonesia tidak bisa dilepaskan dari peran intelektual anak bangsanya. Bermula dari perhimpunan yang bernama Indische Vereeniging yang dibentuk di negeri penjajah, para pelajar seperti Mohammad Hatta, Soetomo, dan Achmad Soebardjo mengubah organisasi tersebut menjadi lebih revolusioner. Pada tahun 1922 organisasi ini berubah nama menjadi Indonesische Vereeniging dan sejak Januari 1923 mendaulat Hatta untuk merevitalisasi majalah *Hindia Poetra* sebagai media perlawanan terhadap pemerintah kolonial. Sepulang para pelajar itu ke tanah air, mereka menjadi tulang punggung pergerakan perjuangan bangsa Indonesia.

Hari ini, pada tahun 2021 atau tepat 99 tahun sejak PPI diinisiasi oleh Hatta dan rekan-rekannya, PPI Dunia mencoba meneruskan semangat juang, ide, dan pemikiran Hatta dan Habibie serta untuk meneruskan inisiasi para pendahulu, PPI Dunia berkolaborasi dengan PPI Negara yang tersebar di seluruh dunia menerbitkan buku dengan judul *Indonesia Emas Berkelanjutan 2045: Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia Seri 8 Energi* sebagai refleksi kepedulian seluruh

Buku ini tidak diperjualbelikan.

mahasiswa Indonesia di luar negeri terhadap perkembangan dan kemajuan bangsa menuju Indonesia Emas 2045. Selain itu, mencermati laporan Price Waterhouse Coopers pada 2017 yang menyebutkan bahwa Indonesia akan menjadi negara besar dunia dan menghasilkan GDP terbesar keempat di dunia di bawah Tiongkok, Amerika Serikat, dan India, PPI Dunia berpendapat bahwa sudah seharusnya mahasiswa Indonesia di luar negeri berkontribusi langsung terhadap pembangunan berkelanjutan di Indonesia untuk mencapai tujuan Indonesia Emas 2045 dan menjadi negara terbesar keempat di dunia tahun 2050.

PPI Dunia, yang saat ini memosisikan diri sebagai *expert community* yang intelektual dan akademis, mencoba memberikan sumbangsih pemikiran melalui buku ini sebagai *expert opinions* kepada *policy makers* dan *stakeholders* di Indonesia. Buku ini menggunakan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan atau *Sustainable Development Goals* (SDGs) yang merupakan rencana aksi global 2030 yang disepakati untuk meningkatkan kualitas hidup manusia di seluruh dunia serta untuk mengakhiri kemiskinan, mengurangi kesenjangan, dan melindungi lingkungan berdasarkan hak asasi manusia dan kesetaraan bagi generasi sekarang maupun yang akan datang dengan berprinsip tanpa mengeksploitasi penggunaan sumber daya alam melebihi kapasitas dan daya dukung bumi. Melalui Direktorat Penelitian dan Kajian PPI Dunia, buku ini merepresentasikan 17 tujuan dalam SDGs yang terbagi dalam berbagai bab dan ditulis oleh perwakilan mahasiswa Indonesia di luar negeri dari berbagai negara.

Ide sederhana dari buku ini adalah menyalurkan energi positif para pelajar Indonesia sebagai *social capital* yang luar biasa untuk berkontribusi langsung terhadap pembangunan masyarakat dan bangsa Indonesia. Pelajar Indonesia di luar negeri adalah bagian dari masyarakat yang memiliki kewajiban untuk menjaga kesejahteraan dan keberlanjutan pembangunan di Indonesia. Buku ini adalah bentuk tanggung jawab dan upaya untuk membayar utang kepada negara atas kesempatan yang kami dapatkan sebagai mahasiswa untuk melanjutkan studi ke luar negeri.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Kami ucapkan terima kasih atas dukungan dan kontribusi PPI Dunia Kawasan Amerika Eropa, PPI Dunia Kawasan Asia-Oseania, dan PPI Dunia Kawasan Timur Tengah Afrika serta 60 PPI Negara yang ikut serta memberikan pemikiran, dukungan moral, serta dukungan SDM hingga buku ini bisa terwujud. Kami ucapkan terima kasih serta penghormatan yang setinggi-tingginya kepada Kepala LIPI beserta jajarannya yang ikut ambil bagian dan menjadi penerbit buku ini sehingga buku ini bisa menambah khazanah baru pemikiran pembangunan bagi kemajuan bangsa. Dengan mengucap syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa dan teriring harap, semoga buku ini dapat memberikan manfaat besar dan langsung bagi kemajuan bangsa Indonesia.

Choirul Anam

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Kata Pengantar Direktorat Penelitian dan Kajian PPI Dunia 2020–2021

Para pembaca yang kami hormati,

Atas nama Direktorat Penelitian dan Kajian (Ditlitka) PPI Dunia 2020-2021, kami ingin menyampaikan rasa syukur atas terbitnya rangkaian buku ini dengan tema "Mewujudkan Indonesia Emas Berkelanjutan 2045: Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia". Buku ini merupakan rangkaian tulisan pemikiran pelajar Indonesia yang tersebar di seluruh dunia, dalam rangka memberikan sumbangsih konsep untuk mempersiapkan Indonesia menjadi negara maju padi tahun 2045.

Rangkaian buku ini terdiri dari 12 judul. Sebanyak 11 buku berfokus pada definisi Indonesia sebagai negara maju yang berorientasi berkelanjutan dalam melaksanakan pembangunannya. Dari sisi konten, bahasan setiap bab dalam 11 buku ini terkait erat dengan capaian *Sustainable Development Goals* (SDGs). Landasan pemikiran kami sangat sederhana bahwa Indonesia emas haruslah berkelanjutan dan proses pembangunan haruslah bertahap. Di samping itu, terdapat 1 buku yang berfokus pada kajian keislaman dan Timur Tengah dalam kaitannya dengan konteks Indonesia.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Kami mengucapkan terima kasih kepada seluruh penulis yang telah terlibat aktif dalam penulisan buku ini. Tak lupa juga kepada LIPI Pres, yang berkenan menerbitkan buku kami serta seluru, jajaran pengurus Ditlitka PPI Dunia 2020–2021 yang berjumlah lebih dari 130 orang. Suatu kehormatan bagi kami bisa bekerja bersama dengan insan cemerlang Indonesia yang tersebar di seluruh dunia untuk menuntut ilmu.

Terakhir, kami tentu berharap rangkaian buku ini bisa bermanfaat bagi banyak pihak, khususnya pemangku kepentingan di bidang pembangunan di Indonesia. Semoga rangkaian buku ini bisa menjadi literatur yang baik dan menjadi catatan sejarah kontribusi pemikiran para pemuda Indonesia yang peduli pada negara dan bangsanya. Untuk Indonesia Jaya!

Hormat Kami,

Direksi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Kata Pengantar

Ahmad Agus Setiawan, Ph.D.[1]

Saya ucapkan selamat atas diterbitkannya buku *Indonesia Emas Berkelanjutan 2045: Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia: Seri 8 Energi*.

Sebuah *issue* yang sangat sesuai dengan yang sedang dihadapi oleh Indonesia saat ini ke depan, terutama terkait dengan kesiapan Indonesia merangkul paradigma baru yakni melakukan transisi energi dari semula berbasis bahan bakar fosil yang jelas tidak berkelanjutan menuju yang lebih bersih dan ramah lingkungan.

Saya dapat merasakan bagaimana inginnya jiwa-jiwa muda yang meronta dari para saintis dan teknolog muda yang tersebar di berbagai penjuru dunia untuk dapat turut serta menyumbangkan pengetahuannya yang paling mutakhir, terutama dari hasil belajarnya yang sangat *up to date* untuk kemajuan bangsa. Semangat itu pula yang saya bawa ketika selepas dari Universitas Gadjah Mada (UGM) saya menempuh studi lanjut di KTH Royal Institute of Technology, Swedia pada

[1] Staf Ahli Bidang Energi di Kantor Staf Presiden Republik Indonesia, Asisten Profesor dalam Sistem dan Perencanaan Energi Terbarukan, Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

2000–2002 dan kemudian di UNSW Sydney dan Curtin University, Australia pada 2004–2009. Semangat membawa pengetahuan yang sedang *hot* dan *in* untuk bisa diterapkan di tanah air tercinta. Beruntung di penghujung studi saat itu, saya bisa mendapatkan *grant* dari UNESCO & Daimler, Mondialogo Engineering Award 2007, dan kemudian menerapkannya di salah satu daerah yang membutuhkan dan kurang beruntung bersama dengan semangat anak-anak muda cendekia Indonesia yang energinya selalu terbarukan. Semangat itu pula yang saya bawa ketika mendapatkan kesempatan dari KPU Pusat untuk menjadi panelis pada debat Calon Presiden 2019 lalu. Ingin sekali rasanya langsung menanyakan *issue-issue* ini kepada kedua kandidat: Pak Joko Widodo dan Pak Prabowo Subianto. Mari Bapak-bapak, kita bawa negeri ini bergerak menuju Pembangunan Indonesia Emas 2045 dengan energi yang berkelanjutan pula. Sampai waktu mengantarkan saya di posisi saat ini sebagai Staf Ahli Bidang Energi di Kantor Staf Presiden RI, semangat dan idealisme untuk mengawal Transisi Energi Indonesia Emas ini selalu bersama saya dan tentunya sangat bahagia melihat *support* riil juga dari para pelajar Indonesia sedunia dengan bukunya ini.

Ruang lingkup dan tujuan buku ini cukup luas terkait bidang energi di Indonesia, dari mulai migas dan minerba berbasis *green technology* sampai dengan pemanfaatan energi baru dan terbarukan, sehingga cukup komprehensif. Terdapat semangat dan optimisme para saintis dan teknolog muda di dalam buku ini seolah ide ataupun janji berasal dari dalam hati masing-masing anak bangsa untuk turut membangun Indonesia ke depan. Buku ini sangat cocok untuk dibaca oleh kalangan akademisi, penggiat sektor energi baru terbarukan, ataupun kalangan umum yang perlu mendapatkan pencerahan akan potensi pengembangan energi di Indonesia. Nilai kebaruan dari seri 8 Energi ini adalah cakupan yang luas atas materi yang cukup komprehensif. Masih ada ruang untuk melakukan pendalaman studi implementasi di lapangan yang tentunya jauh lebih kompleks dan melibatkan berbagai *issue* dan multikepentingan. Pembahasan materi sesuai dengan subjek yang ditampilkan dalam judul yang cukup

Buku ini tidak diperjualbelikan.

menarik perhatian bagi audiens, *Indonesia Emas Berkelanjutan 2045: Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia: Seri 8 Energi*.

Buku ini cukup menarik dan memberikan gambaran cakupan yang coba direngkuh oleh kumpulan kontributor yang memiliki *background* dari masing-masing bidang keilmuan dan studinya dari berbagai kampus di negara-negara tempat menempuh studi ataupun penelitian. Hal ini memberikan pendaran semangat untuk memanfaatkan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan di Indonesia saat ini dan masa depan. Metodologi yang digunakan sudah tepat, mengingat rupa dari buku ini adalah kumpulan dari cakupan keilmuan masing-masing kontributor. Pun jika ada kelemahan, hal tersebut muncul dari model kumpulan kontributor yang beragam.

Buku ini ditulis dengan pemilihan bahasa yang mudah diterima dan dipahami sehingga dapat membawa pembaca berpikir mengenai potensi pemanfaatan ilmu dan pengetahuan serta teknologi untuk pembangunan berkelanjutan di Indonesia, khususnya di sektor energi. Buku ini menarik untuk digunakan menjadi *text book* dalam mata kuliah ataupun pelajaran di tanah air terkait potensi dan manajemen energi serta pengantar teknologi energi baru dan terbarukan agar dapat memantik pembaca untuk lebih mendalami bagian per bagian dari keilmuan yang disajikan.

Kelengkapan anatomi buku ini sudah cukup lengkap dengan penyajian yang menarik sehingga diharapkan dapat memberikan peta jalan bagi pembaca untuk lebih mendalami materi dengan mengikuti perkembangan zaman yang paling *up to date*.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Prakata

Buku ini merupakan rangkaian tulisan pemikiran pelajar Indonesia yang tersebar di seluruh belahan dunia dalam rangka memberikan sumbangsih konsep mempersiapkan Indonesia menjadi negara maju di tahun 2045. Buku ini berusaha memberikan penjelasan kepada para pembaca untuk memahami kondisi saat ini dan tantangan yang dihadapi nantinya, khususnya di sektor energi. Tak hanya sektor energi fosil saja yang disajikan, namun juga energi bersih dan terjangkau. Buku ini pun berusaha menjelaskan perlunya percepatan peningkatan energi baru terbarukan di Indonesia untuk menyukseskan program bauran energi di tahun 2025 dan 2050. Bangsa Indonesia diharapkan mampu memilih kebijakan dan strategi energi yang tepat mengacu pada pembangunan berkelanjutan. Mudah-mudahan buku ini dapat bermanfaat untuk memberi pemahaman secara umum mengenai energi dan kebijakannya di Indonesia.

Kami mengucapkan terima kasih kepada para penulis yang telah berkontribusi mencurahkan ide pemikirannya, memberikan semangat lewat tulisan untuk mewujudkan Generasi Emas 2045; Bapak Ahmad

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Agus Setiawan, Ph.D. atas *review* dan masukannya; serta PPI Dunia dan LIPI Press atas masukannya terhadap tulisan dan kerja samanya sepanjang penulisan buku ini.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB I
Pendahuluan

Sindu Daniarta

Indonesia diproyeksikan menjadi negara maju dan unggul saat berusia 100 tahun pada 2045. Dalam rangka menyiapkan Generasi Emas Indonesia 2045, penyediaan energi sesuai *Sustainable Development Goals* (SDGs) mempunyai peran penting yaitu menyediakan dan memanfaatkan energi bersih, terjangkau, efisien, dan berkelanjutan. Keberhasilan program ini akan memberikan kontribusi besar dalam pencapaian tujuan pembangunan nasional nantinya yang mencakup berbagai dimensi, mulai dari ekonomi, sosial, budaya, teknologi, dan politik.

Untuk memperoleh akses energi bersih dan terjangkau, kemajuan besar perlu dibuat untuk peningkatan akses ini. Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) sudah mengindikasikan ambisi Indonesia dalam arah tersebut, di antaranya dengan memanfaatkan potensi yang ada dan diversifikasi energi di Indonesia. Kami putra putri Indonesia mendukung pembangunan Indonesia Emas Berkelanjutan ini. Oleh karena itu, kami, beberapa pelajar Indonesia yang tersebar di berbagai dunia melalui Komisi Energi Direktorat Penelitian dan Kajian PPI

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dunia menyumbangkan ide-ide pemikiran sesuai dengan *background* studi dan keahlian kami melalui *Indonesia Emas Berkelanjutan 2045: Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia: Seri 8 Energi.* Buku ini memberikan gambaran dan pandangan terkait isu energi agar lebih mudah dipahami oleh pembaca dari segala kalangan, bahkan untuk mereka yang tidak menggeluti bidang keilmuan energi.

Pada bagian awal buku ini terdapat pembahasan "Dinamika Energi di Indonesia Saat Ini dan Masa Depan" dalam Bab II–V. Dalam subtema ini terdapat gambaran konsep energi berkeadilan, energi berdaulat, kemandirian energi, serta eksploitasi sumber daya yang masih didominasi oleh energi fosil (minyak, gas, dan batu bara). Pengolahan cepat, teknologi mapan, dan investasi murah menjadi daya tarik tersendiri penggunaan bahan bakar ini. Namun pada praktiknya, bahan bakar fosil cenderung tidak ramah lingkungan karena emisi yang dihasilkan, konsumsi dan eksploitasi yang berlebihan, serta teknologi pembakaran yang buruk (seperti batu bara) dapat menambah risiko dampak lingkungan. Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan dan kajian lebih lanjut untuk memanfaatkan energi dan meningkatkan efisiensi dari bahan bakar fosil ini.

Penyajian peran teknologi berbasis lingkungan sangat penting untuk memberikan nuansa semangat bersih *net zero emission* dalam upaya mengurangi emisi yang dihasilkan dari usaha di sektor energi. Pada konteks ini, tidak hanya peran teknologi saja yang disajikan, namun regulasi/kebijakan dan gambaran pemanfaatan panas bumi yang tergolong lebih ramah lingkungan dan memiliki potensi yang sangat besar di Indonesia juga dihadirkan pada buku ini.

Ketergantungan energi fosil ini harus mulai dikurangi karena nantinya akan mengakibatkan bencana, tak hanya terhadap lingkungan namun juga perekonomian. Sebagai contoh, kesenjangan antara *supply* dan *demand* energi fosil akan mengarah pada impor besar-besaran yang merupakan salah satu jalan pintas paling mudah untuk dilakukan. Harapannya opsi ini adalah pilihan terakhir yang akan ditempuh.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Perlunya peran diversifikasi energi sebagai solusi untuk mengurangi ketergantungan energi fosil di sisi lain juga dapat mengurangi dampak lingkungan atau emisi. Dalam konteks ini, energi baru terbarukan merupakan salah satu solusinya. Upaya percepatan energi baru terbarukan di Indonesia diperlukan karena masih ada gap besar antara persentase bauran saat ini (2020–2021) dengan target bauran energi di 2025 dan 2050. Oleh karena itu, subtema kedua "Teknologi Percepatan Energi Terbarukan dalam Bauran Energi Indonesia 2050" perlu ditulis dalam buku ini pada Bab VI–XIII. Namun, pembahasan dalam bab tersebut hanya beberapa pilihan potensi energi baru dan terbarukan saja, mengingat keterbatasan *background* bidang studi para penulis saat ini. Beberapa pembahasan potensi energi baru terbarukan berkaitan dengan potensi angin, matahari, nuklir, dll. Pembangunan ekosistem energi serta pemanfaatan sistem hibrida juga dijelaskan untuk melakukan integrasi yang lebih baik lagi. Tak hanya itu, beberapa pemanfaatan sumber daya seperti *biofuel* sebagai bahan bakar alternatif serta pemanfaatan *waste* sebagai pembangkit listrik dan solusi dalam manajemen pengolahannya juga dibahas dalam buku ini.

Berbicara infrastruktur energi terbarukan, komponen pendukung sangat diperlukan untuk mempercepat peningkatan energi baru terbarukan dalam bauran total energi di Indonesia. Kebanyakan energi terbarukan ini bersifat *intermittent* yang bergantung pada kondisi cuaca dan lain-lain. Komponen pendukung berupa teknologi baterai dan *power-to-gas* perlu dibahas di sini karena manajemen energi, kemandirian, dan ketahanan pengelolaan energi di Indonesia sering kali dikaitkan dalam sistem penyimpanan energi ini.

Selain sistem pembangkitan energi, aplikasi energi baru terbarukan ini juga disampaikan dalam buku ini agar memberikan gambaran umum yang komprehensif. Oleh karena itu, dipilihlah subtema terakhir yaitu "Percepatan Energi Terbarukan untuk *Smart City*". Pada Bab 14 dan 15 dijelaskan mengenai pemanfaatan energi terbarukan untuk kendaraan listrik dan *smart city*. Perkembangan teknologi kendaraan listrik sangat pesat sehingga kajian persiapan menyongsong kendaraan listrik perlu dilakukan termasuk juga infrastrukturnya.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Beberapa indikator *smart city* dan transisi *smart energy* juga dibahas di sini.

Dengan adanya buku ini diharapkan dapat memberikan ilustrasi dan menjadi langkah awal untuk kajian-kajian lanjutan dan komprehensif dalam menyediakan energi bersih, terjangkau, efisien, dan berkelanjutan di Indonesia. Selain itu, nantinya buku ini diharapkan juga dapat memberikan ide-ide cemerlang, baik dari sisi teknologi, kebijakan, dan komersialisasi (bisnis) untuk meningkatkan penyediaan energi bersih dan terjangkau. Tentunya persiapan sumber daya manusia yang lebih unggul juga perlu diperhatikan sebagai aspek mendasar untuk pembangunan berkelanjutan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB II

Keadilan, Kedaulatan, dan Kemandirian Energi Indonesia

Putty Ekadewi

A. Energi dan *Sustainable Development Goals* (SDGs)

Mengelola dan mendistribusikan energi ke lebih dari 17.000 pulau di nusantara bukan perkara mudah. Sebuah kasus unik yang harus dihadapi oleh Republik Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dalam tugasnya untuk memenuhi salah satu kebutuhan hidup masyarakatnya. Sebagai komoditas, energi dapat diperoleh dari berbagai sumber serta dapat dimanfaatkan dalam berbagai bentuk. Adapun terminologi "energi" pada bahasan ini mengacu pada bentuk-bentuk energi yang dimanfaatkan untuk kebutuhan nonpangan seperti energi listrik atau bahan bakar transportasi yang digunakan sebagai penunjang aspek kehidupan sehari-hari masyarakat.

Energi dan sumber energi dapat diperoleh melalui jalur distribusi formal maupun informal. Bentuk energi yang disalurkan melalui jalur distribusi komersil pada umumnya terkait sektor transportasi dan rumah tangga yaitu penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) dan listrik oleh masyarakat sebagai konsumen akhir. Selain melalui jalur

Buku ini tidak diperjualbelikan.

distribusi formal, energi dapat diperoleh dan dimanfaatkan secara langsung oleh pengguna akhir seperti pemanfaatan energi surya untuk memfasilitasi proses pengeringan pakaian atau pembakaran kayu hutan untuk memasak dan memanaskan air. Contoh-contoh tersebut memberikan gagasan bahwa energi merupakan komoditas primer yang dapat diperoleh, baik melalui jalur distribusi formal (*on-grid*) maupun informal (*off-grid*). Dengan kata lain, terdapat peluang besar bagi aktor-aktor yang terlibat di bidang energi dalam menentukan berbagai pilihan dan menyusun rencana strategis terkait bentuk, sumber, dan cara memperoleh energi yang akan dikembangkan di masa mendatang.

Melihat status Indonesia sebagai negara kepulauan dengan sebaran pulau dan penduduk yang besar, skema distribusi energi (*on-grid* dan *off-grid*) memegang peranan penting dalam tata kelola sumber daya energi. Pengelolaan energi yang tepat guna menjadi salah satu faktor kuat penggerak aktivitas masyarakat. Upaya pengelolaan energi mencakup berbagai lapisan tindakan, mulai dari identifikasi dan inventarisasi sumber daya energi, penetapan target dan capaian di bidang energi, pembangunan infrastruktur dan jaringan distribusi, hingga perumusan serta implementrasi aturan-aturan yang mengikat dalam pemanfaatan energi seperti penetapan tarif dan regulasi pasar energi di wilayah kedaulatan.

Selayaknya pasar barang dan jasa lainnya, energi sebagai komoditas tidak terlepas dari faktor permintaan dan pasokan. Permintaan atau kebutuhan akan energi, secara umum bergerak mengikuti tren pertumbuhan penduduk di suatu negara. Adapun faktor lainnya yang dapat memengaruhi permintaan energi adalah intensitas pemakaian sebagai pengaruh perkembangan teknologi. Di Indonesia, 2020 ini permintaan energi akhir (*final energy demand*/FED) berada di tingkat 192 *million tonnes of oil equivalent* (MTOE) dengan permintaan energi per kapita sebesar 0,7 *tonnes of oil equivalent* (TOE) untuk populasi 272 juta jiwa (APEC, 2019). Sumber yang sama memprediksi angka permintaan akan meningkat hingga 388 MTOE dengan FED per kapita sebesar 1,2 TOE untuk populasi 322 juta jiwa di tahun 2050.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dengan kata lain, dalam tiga puluh tahun angka permintaan energi akan meningkat dua kali lipat dari permintaan saat ini mengikuti pertumbuhan penduduk di kisaran 50 juta jiwa. Dari prediksi tersebut, secara kasar dapat dilihat perbedaan proporsi antara peningkatan permintaan energi dan pertumbuhan penduduk meskipun tren keduanya masih beriringan.

Diperlukan adanya peningkatan pasokan energi untuk mengimbangi pertumbuhan permintaan. Namun, meningkatkan skala produksi tidak semudah memastikan angka pasokan setara dengan permintaan karena tidak semua sumber energi memiliki karakteristik yang sama. Jika dikaji dari sisi lingkungan, sumber energi berbasis fosil dianggap sebagai salah satu faktor terbesar penyebab perubahan iklim akibat pelepasan luaran dari proses pembakarannya yaitu karbon dioksida (CO_2) beserta polutan lainnya. Sayangnya, sumber energi fosil masih mendominasi, terutama di sektor transportasi. Jika kondisi ini berlanjut, maka bumi akan melewati titik kritis pemanasan suhu permukaan yang akan berakibat pada munculnya bencana-bencana alam skala besar dengan kerugian moral dan material yang sulit dibayangkan.

Sebagai tindakan mitigasi, pilihan lain yang selama ini digaungkan adalah peralihan dari fosil ke sumber energi yang ramah lingkungan dan terbarukan. Sampai saat ini, halangan paling umum dan berat untuk adopsi teknologi energi baru terbarukan (EBT) terletak pada faktor ekonomi dari EBT sebagai komoditas alternatif energi fosil. Industri fosil dapat dikatakan cukup matang, baik dari segi infrastruktur maupun regulasi pendukung. Contohnya dapat dilihat dari praktik subsidi BBM di Indonesia yang membuat bahan bakar jenis ini lebih terjangkau sehingga dipilih oleh masyarakat. Sebaliknya, sebagai industri baru, EBT masih membutuhkan banyak dukungan agar dapat mencapai tingkat yang kompetitif dan bergerak sebagai industri berkelanjutan di masa yang akan datang. Hal ini menjadi kebutuhan mendesak mengingat impian Indonesia untuk memperoleh sumber energi mayoritas dari EBT di tahun 2050 (PP No 21, 2017).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Selain di skala nasional, ancaman kerusakan lingkungan sebagai akibat penggunaan sumber energi tinggi karbon turut berujung pada pergeseran arus kebijakan internasional tentang energi ke arah pembangunan berkelanjutan dan EBT. Pada tahun 2015, dibentuk *Paris Agreement* (Perjanjian Paris) yang berfungsi sebagai acuan kolektif untuk target-target tindakan preventif dan penanggulangan dampak perubahan iklim. Perjanjian ini menetapkan batas maksimum peningkatan suhu global di bawah 2°C untuk abad ini dengan tingkat acuan era praindustrialisasi dan menahan peningkatan suhu di kisaran 1,5°C (IRENA, 2020a). Selain *Paris Agreement*, urgensi peralihan sumber energi ikut tercantum dalam rancangan 17 *Sustainable Energy Goals* (SDGs) untuk tahun 2030 yang dicanangkan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB). Energi merupakan tema besar yang dirangkum dalam SDGs Tujuan Tujuh (SDG 7) untuk memastikan akses energi yang terjangkau, dapat diandalkan, berkelanjutan, dan modern yang merata bagi masyarakat dunia. SDG 7 memiliki lima target dan indikator khusus, yaitu:

1. SDG 7.1: memastikan akses yang universal untuk energi yang terjangkau, dapat diandalkan, dan modern.
2. SDG 7.2: meningkatkan secara signifikan persentase sumber energi terbarukan dalam bauran energi global.
3. SDG 7.3: melipatgandakan laju peningkatan efisiensi energi global.
4. SDG 7.a: meningkatkan kooperasi internasional untuk memberi akses ke riset energi bersih (termasuk di antaranya energi terbarukan, efisiensi energi, dan teknologi lanjut dan bersih untuk bahan bakar fosil) serta mendorong investasi di bidang infrastruktur energi dan teknologi energi bersih.
5. SDG 7.b: mengembangkan infrastruktur dan meningkatkan teknologi untuk distribusi energi dan jasa terkait energi.

Dari poin-poin yang diajukan oleh SDG 7, dapat dilihat bahwa energi berkelanjutan juga mencakup aspek sosial dan politik internasional. Oleh karena itu, energi berkelanjutan sebagai suatu gagasan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

tidak lepas dari konsep keadilan dalam pemenuhan hak masyarakat atas energi, kedaulatan dalam penentuan arah pengembangan energi nasional, dan kemandirian dalam kemampuan memenuhi kebutuhan energi suatu negara. Tulisan ini bertujuan untuk membahas ketiga tema tersebut.

B. Perkembangan Kebijakan tentang Energi

Peran pemerintah di bidang energi dimulai dari segi kebijakan. Mengingat pentingnya hal tersebut, arah pengembangan dan kebijakan untuk energi di Indonesia telah mengalami beberapa kali pembaruan. Secara kronologis, energi mendapat perhatian khusus pada tahun 1980-an dengan diterbitkannya Kebijakan Umum Bidang Energi (KUBE) di tahun 1981. KUBE mengalami dua kali pembaruan pada tahun 1987 dan 1991. Fokus dari KUBE terletak pada intensifikasi, diversifikasi, dan konservasi di bidang energi dengan memperhatikan aspek industri energi, iklim investasi, dan pemetaan harga energi (Kementerian ESDM, 2006). Selanjutnya, pada tahun 1998 diterbitkan lagi pembaruan ketiga untuk KUBE dengan mempertimbangkan aspek lingkungan dan harga energi sebagai poin utama.

Memasuki dekade selanjutnya, pemerintah menerbitkan Peraturan Presiden No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN). Adapun tujuan dari KEN adalah penetapan tujuan dan sasaran kebijakan sebagai pedoman awal Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Namun, KEN tidak dapat berdiri sendiri tanpa payung hukum sehingga pada tahun 2007 diterbitkan UU No. 30 tahun 2007 tentang Energi yang masih digunakan sebagai payung hukum utama terkait energi hingga saat ini. Undang-undang tersebut juga mengatur pembentukan Dewan Energi Nasional (DEN) sebagai komite yang bertugas merumuskan KEN. Pada tahun 2014, KEN sebagai Perpres No. 5/2006 dicabut bersamaan dengan ditetapkannya pembaruan melalui PP No. 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional yang digunakan sebagai landasan RUEN yang diterbitkan di tahun 2017 (diterbitkan sebagai Peraturan Presiden No. 22 tahun 2017 tentang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Rencana Umum Energi Nasional). Hingga saat ini, RUEN versi 2017 ini yang dipegang sebagai pedoman arah pengembangan industri energi di Indonesia hingga tahun 2050.

Pada implementasinya, UU No. 30/2007 tentang Energi tidak dapat berdiri sendiri sehingga turut didukung oleh pengesahan UU No. 30 tahun 2009 tentang Listrik yang dijadikan landasan Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) dan UU No. 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (Kementerian ESDM, 2019). Selain kedua UU tersebut, masih banyak instrumen hukum lain yang berkaitan dengan industri energi di Indonesia. Terlepas dari aspek sejarah, kebijakan serta birokrasi yang rumit merupakan salah satu alasan sulitnya investasi energi terbarukan berkembang di Indonesia sehingga diperlukan inovasi dari segi kebijakan untuk mempermudah berkembangnya industri EBT (IESR, 2019).

C. Arah Perkembangan Energi Indonesia 2025–2050

Salah satu fungsi utama RUEN adalah penetapan target sebagai bagian dari arah perkembangan energi di Indonesia. RUEN menetapkan targetnya dalam dua tahap untuk tahun 2025 dan 2050. Target yang disebutkan sebelumnya mencakup dua parameter, yang pertama bauran energi dan yang kedua elastisitas energi. Bauran merujuk pada pembagian kontribusi beberapa sumber energi (minyak bumi, gas bumi, batu bara, dan EBT) terhadap pasokan energi nasional, sedangkan elastisitas energi merujuk secara implisit pada efisiensi penggunaan energi terhadap pertumbuhan ekonomi.

Bauran energi merupakan parameter penting karena berhubungan langsung dengan sumber energi yang digunakan dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional. Skema target bauran dapat dilihat pada Gambar 2.1a. Dari skema tersebut, batu bara dirancang sebagai sumber energi utama (30%) di tahun 2025. Hal ini terlihat jelas dari ditetapkannya UU No. 3 Tahun 2020 tentang Pertambangan Mineral dan Batu Bara untuk menggantikan UU No. 4 Tahun 2009 dan pola

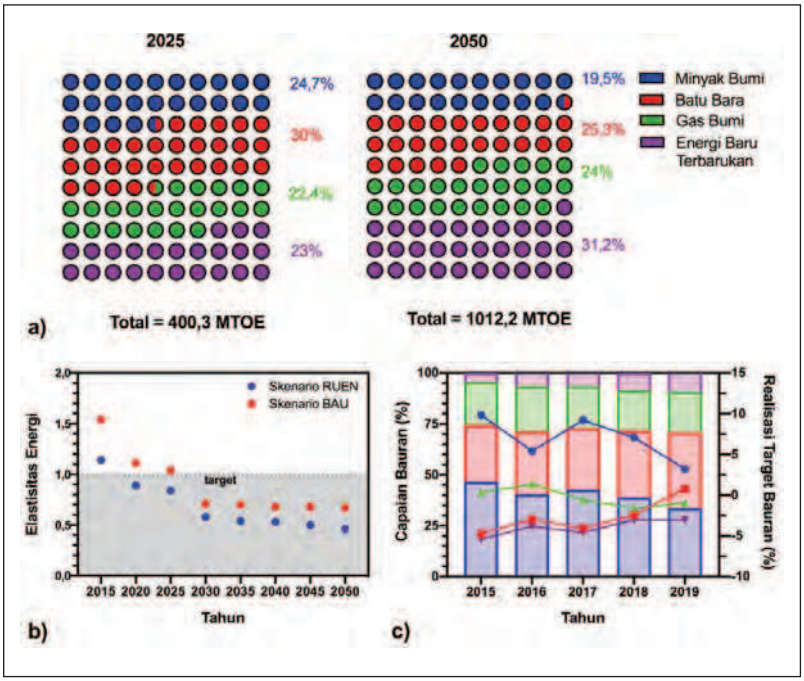
Buku ini tidak diperjualbelikan.

perkembangan industri batu bara belakangan ini. EBT diharapkan menjadi mayoritas bauran energi di tahun 2050 yaitu sebesar 31,2% dari total bauran permintaan energi di kisaran 424,2–548,8 MTOE (PP No. 79, 2014; Perpres No. 22, 2017). Peralihan batu bara ke EBT sebagai sumber energi utama dari tahun 2025 ke tahun 2050 cukup menarik untuk dibahas. Jika dilihat dari pergerakan industri batu bara di Indonesia, momentum besar diraih sejak awal tahun 2000-an dan terus berlangsung hingga saat ini, bahkan sejak tahun 2016 angka produksi batu bara selalu melebihi batas RUEN di angka 400 juta ton dengan total produksi mencapai 557 juta ton di tahun 2018 (Arinaldo & Adiatama, 2019).

Keberlimpahan pasokan batu bara dapat dikaji pula dari sejarah realisasi target bauran saat ini (Gambar 2.1c) ketika batu bara mengalami peningkatan tajam hingga melebihi target bauran pada tahun 2019. Pemanfaatan batu bara sebagai sumber energi utama cukup mengkhawatirkan akibat dampaknya ke lingkungan sekitar. Dampak negatif bagi kesehatan dirasakan oleh masyarakat di daerah tambang dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) serta akselerasi emisi CO_2 ke atmosfer yang berpengaruh pada perubahan iklim dan bertentangan dengan arah kebijakan energi. Sayangnya pemerintah tengah mendorong industri batu bara untuk berkembang sebagai solusi ketahanan energi Indonesia. Kebijakan ini berlawanan dengan arus perkembangan energi global ke arah sumber energi rendah karbon. Di sisi lain, tren realisasi bauran untuk EBT dan gas bumi melandai pada tahun 2018–2019, masih pada kondisi belum mencapai target.

Indikator elastisitas energi secara implisit menyatakan efisiensi pemanfaatan energi di dalam negeri dan hubungannnya dengan pertumbuhan ekonomi terikat erat dengan indikator Produk Domestik Bruto (PDB). Adapun pertumbuhan PDB merupakan indikator penting kondisi ekonomi suatu negara sehingga target untuk PDB selalu diusahakan bernilai maksimum. Target elastisitas < 1% dapat diartikan bahwa untuk pertumbuhan PDB sebesar 1% peningkatan kebutuhan energi diharapkan berada di persentase yang lebih kecil.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Keterangan: a) target jangka panjang bauran energi, b) target dan skenario elastisitas energi berdasarkan skenario RUEN dan BAU (*business as usual*), c) capaian bauran aktual selisih realisasi target bauran [realisasi = target - capaian]

Sumber: Usman dkk. (2020), Perpres No. 22 (2017)

Gambar 2.1 Target dalam RUEN serta Realisasinya

Melalui target tersebut, pemerintah mendorong adanya peningkatan efisiensi pemanfaatan energi dalam usaha pemenuhan pertumbuhan permintaan sehingga arah industri energi Indonesia tidak hanya berfokus pada kuantitas saja. Dari segi elastisitas energi (Gambar 2.1b), skenario implementasi RUEN memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan skenario BAU (*business as usual*). RUEN menetapkan target elastisitas energi < 1%, lebih tepatnya di angka 0,84% untuk tahun 2025 dan 0,46% untuk tahun 2050 (Perpres No. 22, 2017).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

D. Konsep Energi Berkeadilan Melalui Kacamata Distribusi Energi Listrik dan Transportasi

Gagasan energi berkeadilan secara luas dapat diartikan sebagai terpenuhinya hak-hak masyarakat untuk memperoleh energi melalui keterjaminan akses yang merata untuk produk energi. Dalam hal ini, listrik merupakan komoditas yang menarik untuk dibahas, terutama mengingat kehidupan masyarakat modern tidak terlepas dari peralatan elektronik. Bidang kelistrikan dikelola melalui regulasi yang cukup ketat, mulai dari produksi hingga distribusinya. Hal ini dilakukan untuk memastikan hak masyarakat akan energi dapat terpenuhi dengan baik. Berdasarkan pemodelan RUKN, selama periode 2019–2038 kebutuhan energi listrik diperkirakan tumbuh sekitar 6,9% per tahun atau dibutuhkan sekitar 8,5 GW tambahan kapasitas pembangkit listrik per tahun untuk memenuhi permintaan (Kementerian ESDM, 2019). Listrik sendiri diperoleh sebagai hasil konversi bentuk energi lain, seperti surya, angin, hidro, biomassa, nuklir, dan lainnya. Saat ini, Indonesia masih bergantung pada batu bara sebagai penggerak PLTU yang menghasilkan sekitar 59,28% tenaga listrik di tahun 2019 (Usman dkk., 2020). Dari segi pasokan, pemerintah masih memegang kontrol terbesar atas produksi listrik di Indonesia melalui *holding* Perusahaan Listrik Negara (PLN) yang berperan atas 79% produksi listrik nasional, sedangkan sisanya sebesar 21% dipegang oleh pihak swasta atau independen (Maulidia dkk., 2019). Ketimpangan proporsi produksi listrik menimbulkan ketergantungan yang tinggi ke PT PLN dalam pemenuhan permintaan listrik. Hal ini berpotensi menimbulkan efek negatif di skala besar jika jaringan yang dikelola PT PLN mengalami gangguan, contohnya pada kasus disrupsi listrik se-Pulau Jawa pada tahun 2019 lalu. Peristiwa *blackout* se-Jawa tersebut memengaruhi sekitar seratus juta penduduk dengan kompensasi ganti rugi terbesar sepanjang sejarah PT PLN yaitu 865 milyar rupiah bagi konsumen terdampak (Hamdi, 2019). Kasus ini dapat dijadikan gambaran ancaman yang ditimbulkan oleh praktik monopoli listrik yang terjadi di Indonesia terhadap keterjaminan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

pasokan listrik ke masyarakat. Diversifikasi portofolio pelaku industri dalam hal produksi, transmisi, dan distribusi listrik antara beberapa pihak dapat membantu mengurangi risiko terjadinya kasus serupa di masa mendatang.

Selain pasokan dan stabilitasnya, tingkat jangkauan listrik (distribusi) juga merupakan indikator penting energi berkeadilan. Distribusi energi, termasuk listrik, memiliki hubungan erat dengan tingkat okupansi, akses, dan aktivitas ekonomi suatu daerah. Sebagai contoh, di tahun 2013 lebih dari setengah total konsumsi energi di tingkat nasional terjadi di pulau Jawa (56%) yang diikuti oleh Sumatra (25%), Kalimantan (9%), dan sisanya terbagi ke daerah-daerah lainnya (10%) (IRENA, 2017). Terpusatnya konsumsi energi di Pulau Jawa dinilai sebagai suatu hal yang wajar mengingat pulau tersebut merupakan pusat peradaban dan perkembangan teknologi di Indonesia dengan kepadatan penduduk terbesar. Saat ini 151,59 juta jiwa atau 56,1% penduduk Indonesia terkonsentrasi di Pulau Jawa meskipun luasnya hanya sekitar 7% dari luas wilayah nasional (Direktorat Statistik Kependudukan dan Ketenangakerjaan, 2021). Meskipun demikian, energi sebagai salah satu kebutuhan utama masyarakat seharusnya mampu menggapai seluruh titik geografis dengan merata tanpa diskriminasi. Hal ini tidak sesuai dengan kenyataan di lapangan yang dapat ditinjau dari persentase elektrifikasi daerah yang masih belum mencapai 100%, yaitu sebesar 99,2%, di tahun 2020 dengan posisi lima provinsi masih berada di tingkat elektrifikasi 88–94% (Kementerian ESDM, 2021). Provinsi-provinsi tersebut adalah Nusa Tenggara Barat (88%), Maluku (92%), Kalimantan Tengah (94%), Sulawesi Utara (94%), dan Papua (94%). Provinsi-provinsi tersebut sebagian besar memiliki tingkat kepadatan penduduk yang rendah, seperti Maluku dan Papua, dengan kepadatan penduduk terendah di Indonesia (3,17%) (Direktorat Statistik Kependudukan dan Ketenagakerjaan, 2021). Selain itu, penting untuk diketahui bahwa tingkat elektrifikasi hanya mempertimbangkan hadir atau tidaknya teknologi energi listrik di daerah tersebut tanpa memperhitungkan stabilitas dan kuantitas

Buku ini tidak diperjualbelikan.

pasokan. Untuk menghindari bias dalam evaluasi ketercapaian akses energi yang merata, diperlukan indikator pengiring yang turut mempertimbangkan kualitas pasokan listrik di Indonesia.

Setelah distribusi, kemampuan masyarakat untuk memperoleh energi juga dipengaruhi oleh aspek ekonomi. Kemampuan ini idealnya sebanding dengan aktivitas dan tingkat ekonomi masyarakat di masing-masing daerah sehingga tidak ada diskriminasi. Kenyataannya, tarif untuk energi masih timpang di berbagai wilayah. Kondisi ini diperparah oleh karakteristik ekonomi Indonesia yang masih berpusat di ibu kota. Dari segi infrastruktur, jaringan distribusi yang rumit untuk daerah-daerah yang masih terisolir berakibat pada timbulnya tarif tambahan yang sebagian masih dibebankan kepada konsumen. Sebagai contoh, pulau-pulau kecil mengandalkan generator diesel untuk menghasilkan listrik di harga 5.070 rupiah per kWh, sedangkan di pulau-pulau besar tarif listrik ditetapkan PT PLN pada 1.352 rupiah per kWh (Kunaifi dkk., 2020). Selain tarif listrik, harga BBM juga masih timpang antarwilayah. Realita ini telah menyita perhatian pemerintah dengan dilaksanakannya program BBM satu harga. Program ini telah berhasil menyamakan harga jual BBM di 253 lokasi hingga tahun 2020 dari total target 500 lokasi sampai dengan tahun 2024. Harga jual BBM di daerah-daerah target turun dari harga jual tertinggi 100.000 rupiah per liter di Kab. Puncak, Papua, menjadi 6.450 rupiah per liter (BBM jenis premium) dan 5.150 rupiah per liter (BBM jenis solar) sesuai ketetapan harga nasional (Kementerian ESDM, 2021).

E. Produksi Energi untuk Konsumsi Dalam Negeri atau Komoditas Ekspor?

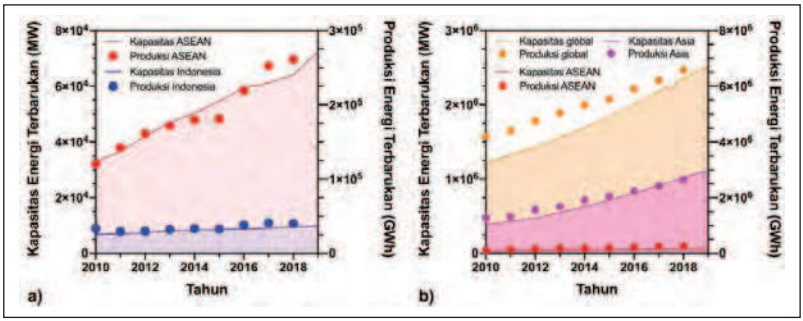
Indonesia memiliki sumber daya energi yang beragam dari segi pilihan dan keberlimpahan. Jadi, sumber daya energi dapat dikapitalisasi di pasar internasional selain digunakan untuk pemenuhan kebutuhan domestik. Kapitalisasi energi dapat dilihat dari contoh batu bara

Buku ini tidak diperjualbelikan.

sebagai sumber energi andalan Indonesia dua dekade belakangan ini. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, target domestik (bauran) batu bara untuk tahun 2025 telah terpenuhi. Mengingat angka produksi lebih besar dari kebutuhan domestik, Indonesia memiliki peluang ekonomi yang besar di sektor ini melalui ekspor. Bahkan, ekspor batu bara di tahun 2018 mencapai 75,41% dari total produksi sebesar 492 juta ton dan berkontribusi untuk pendapatan negara dari sektor nonmigas di kisaran 80% (Arinalo & Adiatama, 2019). Perilaku ini diprediksi akan tetap berlangsung untuk beberapa waktu mendatang mengingat banyaknya izin yang diterbitkan untuk industri batu bara selama beberapa tahun terakhir. Untuk jangka panjang, batu bara semakin ditinggalkan untuk sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Hal ini berdampak cukup signifikan terhadap potensi ekspor batu bara Indonesia yang diprediksi menurun. Secara umum, sikap Indonesia terkait sumber daya energi sudah tepat, yaitu memastikan terjaminnya kebutuhan dalam negeri sebelum menjadikan sumber daya yang surplus sebagai komoditas ekspor.

Berkebalikan dari batu bara yang profil produksinya berlimpah, pergerakan produksi EBT di Indonesia masih terlihat stagnan (Gambar 2.2a) jika dibandingkan kapasitas dan produksi EBT di tingkat regional ASEAN. Di tingkat global dan Asia, regional ASEAN pun masih tertinggal dari segi produksi EBT (Gambar 2.2b). Meskipun Indonesia mampu meningkatkan kapasitas dan produksi, namun masih sangat sedikit jika dibandingkan yang terjadi di skala ASEAN. Posisi Indonesia sebagai pelaku ekonomi terbesar di kawasan ASEAN ternyata tidak sama kuatnya untuk segi perkembangan EBT. Menurut statistik IRENA (2020b), Vietnam merupakan negara kontributor terbesar produksi energi terbarukan di kawasan ASEAN dengan angka produksi EBT di tahun 2019 sekitar dua kali lipat Indonesia. Dari ketertinggalan tersebut, dapat dilihat bahwa industri EBT di Indonesia masih menghadapi berbagai masalah yang berujung pada tidak tercapainya target produksi serta laju pertumbuhan yang tidak mumpuni.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Keterangan: a) Skala ASEAN, b) Skala Asia dan Global

Sumber: IRENA (2020b)

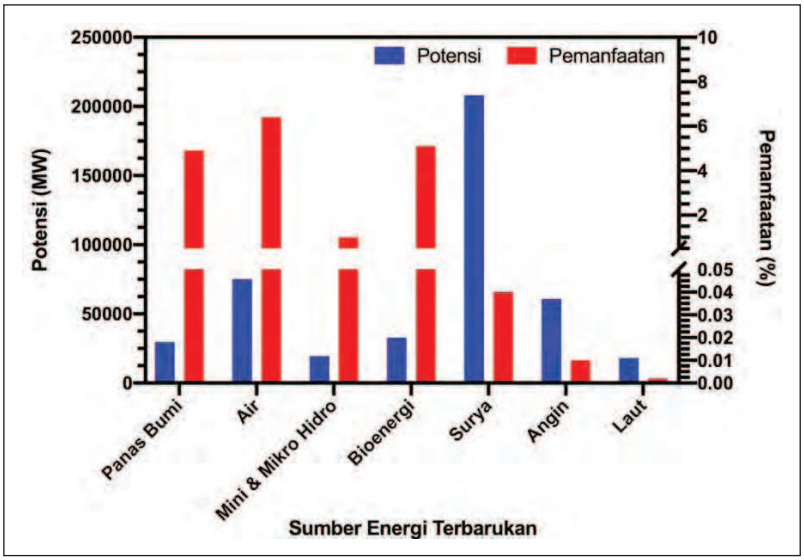
Gambar 2.2 Perbandingan Kapasitas dan Produksi Energi Terbarukan

F. Potensi Cadangan Energi dan EBT di Indonesia

Dari segi cadangan energi, Indonesia masih memiliki potensi energi yang belum termanfaatkan, baik dalam bentuk energi fosil ataupun EBT. Hal yang menarik dari EBT adalah ketersediaannya dalam berbagai bentuk sehingga EBT seringkali diajukan sebagai solusi penyediaan energi secara *off-grid* atau untuk daerah-daerah yang sulit terhubung ke *grid*. Merujuk ke Gambar 2.3, dapat dilihat disparitas potensi sumber energi EBT dengan pemanfaatannya. Energi surya memberikan nilai potensi energi terbesar (basis asumsi 4,80 kWh/m^2/hari), namun pemanfaatannya saat ini hanya 0,04% dengan kapasitas terpasang sebesar 78,5 MW (Perpres No. 22, 2017).

Bioenergi memiliki tingkat pemanfaatan yang lebih tinggi dibandingkan tenaga surya meskipun potensinya jauh di bawah tenaga surya. Hal ini karena bioenergi telah dimanfaatkan secara tradisional oleh masyarakat untuk memasak (IRENA, 2017). Selain itu, belakangan ini kebijakan pemanfaatan bioenergi mengarah pada peningkatan rasio campuran bahan bakar diesel dengan biodiesel hingga target B100 atau 100% biodiesel. Namun, target campuran biodiesel untuk bahan bakar transportasi masih mengalami kendala akibat kompetisi kegunaan bahan baku minyak sawit dengan sektor

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Perpres No. 22 (2017)

Gambar 2.3 Potensi dan Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan

industri lainnya serta keterbatasan infrastruktur (IESR, 2019). Selain faktor kebijakan, status Indonesia sebagai salah satu negara eksportir minyak sawit terbesar di dunia turut mendukung fenomena ini.

Secara keseluruhan, sumber daya EBT masih belum dapat dimanfaatkan dengan baik potensinya. Di sisi lain, posisi cadangan energi fosil di Indonesia dalam bentuk minyak bumi hanya dapat bertahan untuk dua belas tahun semenjak pendataan tahun 2015 dalam RUEN. Bentuk energi fosil lainnya, batu bara, memiliki sisa umur 82 tahun menurut sumber data yang sama (Perpres No. 22, 2017). Batu bara merupakan sumber energi fosil dengan cadangan terbesar di Indonesia saat ini jika dibandingkan minyak dan gas bumi.

G. Rekomendasi Terkait Ketercapaian dan Evaluasi Visi Energi Indonesia serta Sosialisasi Transisi

Indonesia memiliki visi energi jangka panjang yang cukup komprehensif. Namun, visi tersebut terlihat cukup ambisius jika memper-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

timbangkan kondisi saat ini, terutama untuk tahun 2025. Seiring dengan berjalannya waktu, tantangan bagi visi tersebut semakin berat mengingat kegagalan tercapainya target-target jangka pendek dan menengah yang pernah ditetapkan. Di samping itu, keterlibatan Indonesia di panggung dunia melalui perjanjian-perjanjian internasional, seperti *Paris Agreement*, *Copenhagen Accord*, dan SDGs melalui PBB memberikan tekanan tambahan berupa komitmen di tingkat internasional yang harus dicapai. Sebagai contoh, Indonesia berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29% lewat dokumen *Intended Nationally Determined Contribution* (INDC) untuk UN Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) dan sebesar 26% lewat *Copenhagen Accord*—dapat dibandingkan dengan skenario BAU yang dijadikan salah satu pertimbangan dalam perancangan RUEN (Perpres No. 22, 2017).

Target tersebut cukup ambisius jika dievaluasi dari keadaan bauran energi saat ini sebagai salah satu faktor yang akan berdampak besar terhadap angka emisi gas rumah kaca, baik untuk memenuhi target di tingkat nasional maupun komitmen di tingkat internasional. Tekanan-tekanan tersebut mendorong timbulnya urgensi untuk melakukan evaluasi secara realistis terkait target yang ingin dicapai. Diharapkan dengan adanya tinjauan ulang terhadap potensi realisasi target tersebut, pihak terkait dapat menyesuaikan strategi yang akan diterapkan. Penyesuaian serta penyusunan strategi berdasarkan data terkini di lapangan diharapkan dapat lebih tepat sasaran serta realistis untuk dicapai.

Peralihan persentase bauran seperti yang ditargetkan pemerintah dalam RUEN untuk tahun 2025 dan 2050 menjadi sangat penting jika melihat potensi cadangan energi di Indonesia. Jika ketergantungan akan energi fosil berupa minyak bumi seperti pada saat ini dibiarkan berlanjut seiring dengan peningkatan kebutuhan energi, Indonesia tidak memiliki opsi selain meningkatkan impor. Kebutuhan sektor transportasi yang masih didominasi oleh produk *refining* minyak bumi melatarbelakangi hal tersebut. Ketergantungan akan impor minyak bumi menimbulkan rasa tidak aman akibat ketidakpastian

Buku ini tidak diperjualbelikan.

harga minyak dunia yang sangat terpengaruh oleh kondisi geopolitik internasional. Contoh volatilitas harga minyak dunia ini terjadi pada awal tahun 2015 dan 2019 saat terjadi perang harga antara OPEC dengan negara-negara eksportir non-OPEC dan antara Saudi Arabia dan Rusia (Lin & Bai, 2021). Efek domino dari volatilitas harga minyak dunia dapat dirasakan oleh konsumen tingkat akhir sehingga tidak jarang turut memengaruhi harga produk dan jasa lainnya.

Tahun 2020 industri energi dihantam keras oleh pandemi Covid-19 yang berakibat pada jatuhnya harga pasar minyak dunia akibat penurunan permintaan secara mendadak dan serempak. Efek dari kejadian luar biasa ini tidak hanya berdampak negatif pada produsen minyak bumi, namun industri energi secara keseluruhan. Akibat dari penurunan aktivitas manusia yang signifikan selama periode pandemi memiliki dampak jangka menengah hingga panjang. Menurut IEA (2020) dalam *World Energy Outlook*, bahkan untuk skenario paling optimis (skenario STEPS) permintaan global untuk energi mengalami penurunan hingga sekitar 5% di tahun 2030 dibanding dengan skenario prapandemi. Akibatnya, model-model yang selama ini digunakan untuk memprediksi pertumbuhan permintaan maupun produksi energi memerlukan peninjauan kembali untuk mengembalikan tingkat kepercayaan prediksi model. Fenomena ini juga menimbulkan kekhawatiran bagi industri energi di Indonesia, terutama ancaman terhentinya proyek-proyek EBT akibat penurunan aktivitas ekonomi nasional dan iklim investasi global yang terdisrupsi pandemi. Sebagai upaya antisipasi diperlukan penyesuaian instrumen kebijakan atau penyediaan insentif lebih dari pemerintah agar proyek-proyek EBT di Indonesia dapat terus berjalan. Sebagai contoh, Indonesia dapat mempelajari dan bergerak mengikuti arus kebijakan dan *roadmap* untuk pemulihan ekonomi seperti di Uni Eropa yang memanfaatkan momentum pandemi ini untuk membangun *low-carbon economy* (Khanna, 2020).

Peralihan sumber energi menuju sumber energi terbarukan perlu mempertimbangkan tingkat kesiapan masyarakat untuk menerima realitas baru ini. Secara sosial ekonomi, di Indonesia 9,78% atau seki-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

tar 26,4 juta jiwa masyarakat hidup di bawah garis kemiskinan (BPS, 2020). Angka ini belum memperhitungkan populasi yang berada pada tingkat ekonomi rentan sehingga dampak dari perubahan di bidang energi memberi efek signifikan dalam kehidupan harian orang banyak. Akibatnya, perubahan kebijakan perlu mempertimbangkan potensi penerimaan di kalangan masyarakat. Kebijakan yang dirancang tanpa mempertimbangkan faktor sosial ekonomi serta kesiapan masyarakat untuk menerima teknologi baru berpotensi menimbulkan resistensi yang besar. Dengan demikian, transisi ke EBT sebaiknya terlebih dahulu dilaksanakan oleh pemerintah dan badan usahanya. Sebagai contoh, PT PLN sebaiknya melakukan perubahan terlebih dahulu dengan meningkatkan persentase EBT dalam bauran sumber energi di pembangkit listriknya sebelum pemerintah mendorong masyarakat untuk beralih menggunakan kendaraan listrik. Selanjutnya untuk mendorong masyarakat beralih ke sumber energi bersih, pemerintah dapat mengambil langkah persuasif seperti memberikan insentif sehingga dari segi biaya EBT menjadi pilihan yang lebih menarik. Subsidi atau insentif ini dapat juga diberikan untuk pihak swasta pengembang teknologi EBT sebagai stimulus manufaktur dan adopsi teknologi tersebut di masyarakat. Pemerintah dapat belajar dari kisah suksesnya terdahulu sebagai negara dengan perkembangan yang paling pesat dalam akses universal untuk teknologi memasak yang bersih dengan peningkatan yang tajam dari 2,4% di tahun 2006 ke 56,6% di tahun 2014 (United Nations, 2018). Hal itu dicapai melalui program perluasan akses dan promosi pasar teknologi memasak berbasis LPG. Contoh tersebut memberikan harapan bahwa program pemerintah yang tepat dan terarah akan memberikan hasil yang baik pula.

Indonesia memiliki karakteristik geografis, demografis, dan pasar energi yang unik. Secara geografis, tantangan yang paling besar terletak pada pemilihan dan integrasi pasokan energi di tingkat nasional maupun lokal secara *off-grid*. Untuk melewati tantangan terebut, pengelolaan energi perlu melibatkan peran serta pihak swasta melalui desentralisasi peran pemerintah pusat dalam penyediaan energi, terutama listrik. Tujuannya agar daerah-daerah terisolir memiliki

Buku ini tidak diperjualbelikan.

akses ke energi yang terjangkau meskipun belum tersentuh jaringan listrik nasional. Faktor demografi juga memberikan tantangan dari segi kesadaran dan kesiapan masyarakat awam untuk beralih ke EBT. Terakhir, pasar energi yang ada di Indonesia memiliki pilihan yang sangat beragam, terutama EBT yang masih berada di tahap awal perkembangan dan akan terus berkembang akibat intensnya topik ini dipelajari dan diteliti di seluruh dunia. Oleh karena itu, penting bagi Indonesia untuk turut berkontribusi dalam menghasilkan inovasi di bidang energi dengan memberi perhatian lebih ke bidang riset dan pendidikan. Penguasaan ilmu dan teknologi melalui sumber daya manusia yang kompeten merupakan bekal bagi Indonesia agar mampu merealisasikan potensi sumber daya alam di wilayahnya untuk mencapai visi RUEN di tahun 2050.

REFERENSI

APEC. (2019). *APEC energy demand and supply outlook (7th Edition) - Vol. II* (APEC#219-RE-01.9). Asia Pacific Energy Research Centre. https://www.apec.org/-/media/APEC/Publications/2019/5/APEC-Energy-Demand-and-Supply-Outlook-7th-Edition---Volume-I/219_EWG_APEC-Energy-Demand-and-Supply-Outlook-7th-edition_Vol-I.pdf

Arinaldo, D., & Adiatama, J. C. (2019). *Indonesia's coal dynamics: Toward a just energy transition*. Institute for Essential Services Reform (IESR). http://iesr.or.id/wp-content/uploads/2019/08/Indonesias-Coal-Dynamics_Toward-a-Just-Energy-Transition.pdf

Badan Pusat Statistik (BPS). (2020). *Laporan bulanan data sosial ekonomi Desember 2020* (No. Publikasi 03220.2017).

Direktorat Statistik Kependudukan dan Ketenagakerjaan. (2021). *Potret sensus penduduk 2020 menuju satu data kependudukan Indonesia*. Badan Pusat Statistik.

Hamdi, E. (2019). *The case for system transformation in Indonesia: Time for a full electricity system audit*. https://ieefa.org/wp-content/uploads/2019/11/IEEFA_The-Case-for-System-Transformation-in-Indonesia_November-2019.pdf

IEA. (2020). *World energy outlook 2020*. https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020

Buku ini tidak diperjualbelikan.

IESR. (2019). *Indonesia clean energy outlook: Tracking progress and review of clean energy development in Indonesia*. https://iesr.or.id/wp-content/uploads/2019/12/Indonesia-Clean-Energy-Outlook-2020-Report.pdf

IRENA. (2017). *Renewable energy prospects: Indonesia, a REmap analysis*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Mar/IRENA_REmap_Indonesia_report_2017.pdf

IRENA. (2020a). *Renewable energy and climate pledges: Five years after the Paris Agreement*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_NDC_update_2020.pdf

IRENA. (2020b). *Renewable energy statistics 2020*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2020.pdf

Kementerian ESDM. (2006). *Blueprint pengelolaan energi nasional 2006–2025*. https://www.esdm.go.id/assets/media/content/Blueprint_PEN_tgl_10_Nop_2007.pdf

Kementerian ESDM. (2019). *Rencana umum ketenagalistrikan nasional 2019–2038*. https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/46a85-rukn-2019-2038.pdf

Kementerian ESDM. (2021). *Capaian kinerja 2020 & program 2021*. https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-capaian-kinerja-tahun-2020-dan-program-kerja-tahun-2021-sektor-esdm.pdf

Khanna, M. (2020). Covid-19: A cloud with a silver lining for renewable energy?. *Applied Economic Perspectives and Policy*, *43*(1), 73–85. https://doi.org/10.1002/aepp.13102.

Kunaifi, K., Veldhuis, A. J., & Reinders, A. H. M. E. (2020). *The electricity grid in Indonesia: the experiences of end-users and their attitudes toward solar photovoltaics*. Springer Nature Switzerland AG.

Lin, B., & Bai, R. (2021). Oil prices and economic policy uncertainty: Evidence from global, oil importers, and exporters' perspective. *Research in International Business and Finance*, *56*, 101357. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2020.101357.

Maulidia, M., Dargusch, P., Ashworth, P., & Ardiansyah, F. (2019). Rethinking renewable energy targets and electricity sector reform in Indonesia: A private sector perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *101*(February 2018), 231–247. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.005.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. (2014). https://jdih.esdm.go.id/peraturan/PP%20No.%2079%20Thn%202014.pdf

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional. (2017). https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-rencana-umum-energi-nasional-ruen.pdf

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. (2006). http://psdg.bgl.esdm.go.id/kepmen_pp_uu/perpres%20no5%20tahun%202006.pdf

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi. (2007). https://jdih.esdm.go.id/peraturan/uu-30-2007.pdf

United Nations. (2018). *Accelerating SDG 7 achievement: Policy briefs in support of the first SDG 7 review at the UN high-level political forum*. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/22877UN_FINAL_ONLINE_20190523.pdf

Usman, E., Priyambodo, D., Irawan, D., Restuti, A. N., Pujiwati, A., Jati, A. N., Agung PS, P., Sari, S. P., Kurniati, I., Septiyadi, E., Apriari DS, W., Ratnasari, F. D., Ahsol, Y. M., & Hutapea, R. (2020). *Bauran energi nasional*. Dewan Energi Nasional - Sekretariat Jenderal.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB III
Dinamika Migas dan Panas Bumi di Indonesia

Naufaldy Obianka Putra,
Reyhan Puji Putranto, & Sindu Daniarta

A. Gambaran Umum Minyak, Gas, dan Panas Bumi

Minyak dan gas atau yang biasa disebut migas merupakan salah satu komoditas energi yang luas digunakan karena kemudahan dan kepraktisan yang ditawarkan. Sebagai salah satu negara produsen minyak, Indonesia pernah bergabung dengan *Organization of Petroleum Exporting Countries* (OPEC). Dengan puncak produksi mencapai 1,7 juta barel minyak per hari (*barel oil per day*, BOPD), peran Indonesia dahulu pada pasar minyak sangat penting. Namun, kondisi perminyakan Indonesia sekarang tidak sebaik dahulu. Produksi minyak terus menurun, tetapi konsumsi minyak terus meningkat sebagai imbas kenaikan populasi dan kemajuan ekonomi. Sekarang, Indonesia masuk ke negara importir minyak dan tidak lagi menjadi bagian dari OPEC. Berbagai usaha pun ditempuh untuk menjaga stabilitas produksi dan banyak upaya dilakukan untuk menaikkan produksi. Tanggung jawab inilah yang diemban oleh Satuan Kerja Khusus Minyak dan Gas (SKK Migas) selaku institusi negara yang bertanggung jawab untuk jalan usaha hulu (eksplorasi, pengeboran, dan produksi) minyak dan gas bumi.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Upaya peningkatan produksi secara konvensional dan usaha pemanfaatan sumber hidrokarbon non-konvensional seperti *shale gas* dan *coal bed methane* telah dilakukan sebagai upaya pemenuhan kebutuhan minyak. Selain digunakan sebagai bahan bakar kendaraan, migas juga digunakan untuk generasi listrik di beberapa wilayah. Gas bumi menawarkan panas yang sama dengan batu bara namun menghasilkan lebih sedikit gas rumah kaca. Selain gas, terdapat sumber energi lain, yaitu panas bumi, yang dapat diproses untuk menggenerasi listrik. Kemiripan teknik eksploitasi dan potensi panas bumi yang tinggi membuat sumber energi ini menarik untuk dikembangkan. Ditambah lagi Indonesia yang terletak di persimpangan cincin api (*ring of fire)* dan sabuk Alpide, hal ini merupakan anugerah bagi Indonesia untuk dapat memanfaatkan sumber panas bumi secara baik. Namun, banyak tantangan dihadapi dalam pemanfaatan sumber panas bumi ini, mulai dari teknologi, kebijakan, tarif listrik, lokasi di bawah hutan lindung dan konservasi, aspek ekonomi, sosial, dan lain-lain.

Bab ini akan mencoba menjelaskan kondisi minyak, gas, dan panas bumi di Indonesia serta beberapa upaya pemanfaatan dan tantangan yang dihadapi Indonesia di masa mendatang. Di akhir bab ini akan dijelaskan juga terkait rekomendasi pemanfaatan sumber energi yang dihasilkan dari migas dan panas bumi ini.

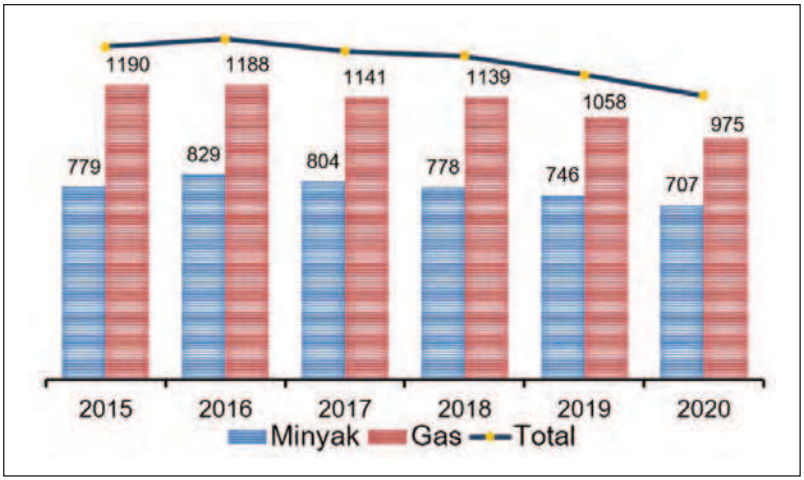
B. Sejarah Produksi dan Iklim Investasi Minyak dan Gas

Sejarah eksplorasi dan produksi minyak Indonesia sudah dimulai sejak zaman penjajahan Belanda. Pengetahuan akan adanya minyak bumi dicatat oleh penjelajah Belanda yang pada catatan tersebut, adanya penggunaan balsam dengan tujuan pengobatan dan penerangan (van Bemmelen, 1949). Tercatat ada 53 titik rembesan minyak di seluruh Indonesia pada 1869. Pemboran pun dilakukan pada 1871 di Jawa Barat, 1885 di Sumatra, dan 1895 di Kalimantan Timur (Bishop, 2000). Sejak saat itu, Indonesia di bawah kepemimpinan kolonial Belanda mulai melakukan eksplorasi dan eksploitasi cadangan minyak. Minyak

Buku ini tidak diperjualbelikan.

yang ditemukan di Sumatra Utara oleh sumur Telaga Tunggal 1 berada pada kedalaman 121 meter dan sudah memproduksikan tujuh juta barel minyak selama lebih dari 50 tahun. Mengingat Indonesia sudah mulai memproduksi minyak sejak jaman kolonial, pemahaman masyakarat akan minyak pun sudah tinggi. Namun, hal tersebut juga membawa konsekuensi jika cadangan minyak yang mudah untuk diproduksikan sudah habis dan eksplorasi laut dalam mulai dilakukan.

Berdasarkan Laporan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) dan SKK Migas pelaksana kegiatan hulu, produksi gabungan migas mencapai 99,1% dari total target yang ditetapkan. Melihat kecenderungan produksi terus menurun yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1, perlu dilakukan rencana untuk menjaga produksi migas dengan tujuan mempersiapkan sumber energi lain yang lebih berkelanjutan. Kemudian, target yang ditetapkan selanjutnya adalah 705 MBOPD minyak bumi dan 1007 *mega barrel oil equivalent per day* (MBOEPD) gas bumi dengan total 1.712 MBOEPD migas pada tahun kerja 2021.

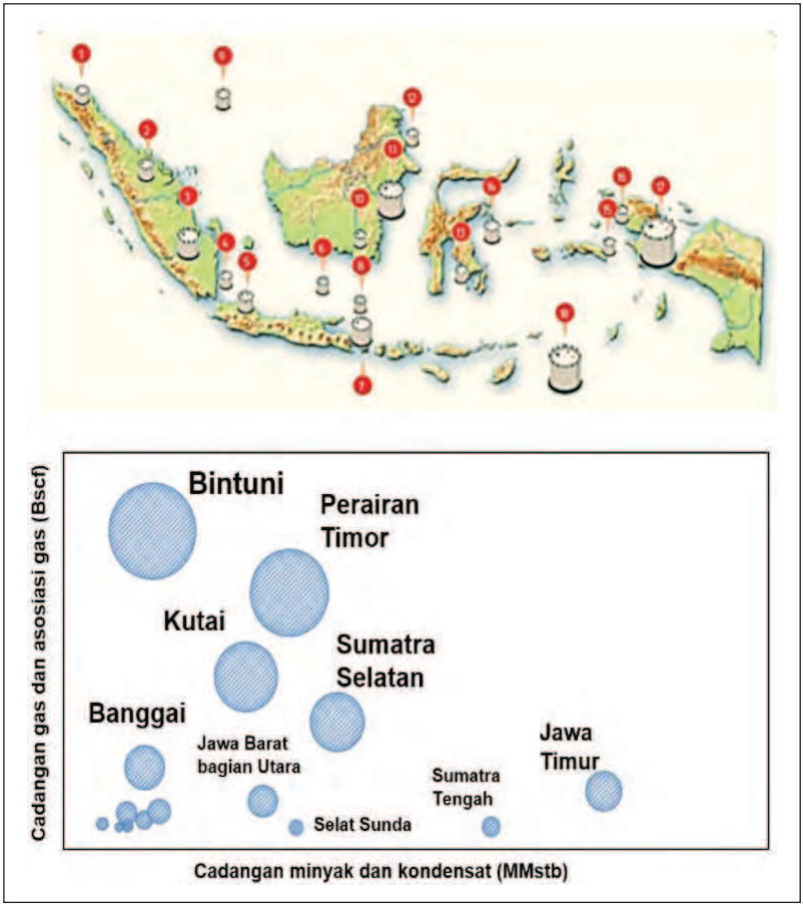


Sumber: Kementerian ESDM (2021a)

Gambar 3.1 Produksi Migas Indonesia

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Migas diproduksi dari *reservoir* atau cekungan sedimen di bawah tanah. Dengan mengaplikasikan perbedaan tekanan antara permukaan dan bawah tanah, minyak dan gas dapat mengalir. Setiap daerah mempunyai cadangan yang berbeda dan berubah setiap tahunnya akibat operasi produksi dan aktivitas eksplorasi yang dilakukan di daerah tersebut. Gambar 3.2 menunjukan cadangan minyak dan kondensat (produk sampingan dari produksi gas) dalam satuan *million stock tank barrel* (MMStb) dan gas dalam satuan *billion standard cubic feet*



Sumber: SKK Migas (2019)

Gambar 3.2 Cadangan Minyak dan Gas di Indonesia

Buku ini tidak diperjualbelikan.

(BScf). Berdasarkan Gambar 3.2, cadangan minyak bumi cenderung dominan di wilayah timur Indonesia, seperti wilayah Bintuni, perairan Timor, dan Kutai. Wilayah selatan Indonesia menghasilkan gas bumi lebih banyak seperti Jawa Timur, Sumatra Tengah, dan Selat Sunda.

Daerah di mana terdapat aktivitas pekerjaan migas dinamakan wilayah kerja (WK). Setiap tahun SKK Migas melakukan tender WK migas kepada sektor privat untuk dapat mengeksploitasi dan mengeksplorasi guna memproduksi dan menemukan cadangan pengganti. Pada laporan SKK Migas 2019, terdapat WK eksploitasi sebanyak 92 atau naik 4% dari tahun sebelumnya; 77 WK eksplorasi konvensional atau turun 15% dari tahun sebelumnya; 30 WK non-konvensional atau turun 19% dari tahun sebelumnya. Secara total WK migas pada tahun 2019 adalah 199 atau turun 8% dari tahun 2018 (SKK Migas, 2019).

Perubahan sistem kontrak migas yang berlaku sejak tahun 2017 berhasil menurunkan *cost recovery* atau pengembalian biaya produksi oleh kontraktor. Realisasi *cost recovery* pada tahun 2019 sebesar 10,9 miliar USD dan diperkirakan akan terus menurun seiring perubahan kontrak pada WK produksi.

Sumber: SKK Migas (2019)

Gambar 3.3 Realisasi Proyek Migas

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Selama 2019 terdapat sembilan proyek besar hulu migas dengan total produksi 265 *million cubic square feet per day* (MMSCFD). Mayoritas proyek yang dilakukan beberapa tahun belakangan ini adalah lapangan gas karena potensi penemuan *big oil* di Indonesia sudah mulai berkurang. Berikut adalah Gambar 3.3 proyek besar hulu migas yang berhasil terealisasi pada 2019.

C. Upaya Meningkatkan Produksi Migas

Produksi yang terus menurun membuat usaha eksplorasi dan efektivitas produksi harus ditingkatkan lagi. Eksplorasi mulai mencari migas di area timur dan laut dalam yang sebelumnya belum tersentuh. Proyek strategis nasional pun ditetapkan untuk menjaga produksi di masa mendatang guna memenuhi konsumsi. Adapun proyek strategis nasional sebagai berikut.

a. Indonesia *Deepwater Development*

Berlokasi di Selat Makassar, Chevron Makassar Limited berusaha untuk mengembangkan reservoir migas yang berada pada kedalaman laut hingga 2.000 m. Awalnya, proyek ini mencakup empat WK yaitu Ganal, Rapak, Makassar Strait, dan Muara Bakau (Unitisasi) yang meliputi lima lapangan di antaranya Bangka, Gehem, Gendalo, Maha, Gandang. Revisi rencana pengembangan dilakukan karena tenggat waktu operasi WK Makassar Strait yang telah habis dan tidak diberikan kepada Chevron. Oleh karena itu, Lapangan Maha dikeluarkan karena berada pada WK Makassar Strait. Puncak produksi diperkirakan akan mencapai 844 MMSCFD dengan 27.000 BOPD. Direncanakan proyek yang akan memakan investasi 6,98 miliar USD akan dapat selesai dan berproduksi pada kuartal IV 2025.

b. Jambaran Tiung Biru

Proyek Jambaran Tiung Biru merupakan salah satu usaha untuk meningkatkan produksi gas yang dilakukan bersama oleh *joint venture* PT Pertamina EP Cepu 45%, Mobil Cepu Ltd 45%, BKS Blok Cepu (Bojonegoro, Blora, Jawa Tengah, Jawa Timur) 10%. Ruang lingkup

Buku ini tidak diperjualbelikan.

proyek ini meliputi pembangunan fasilitas pengolahan gas, kegiatan pemboran enam sumur produksi, dan satu sumur *temporary plug and abandon* P&A. Terdapat pekerjaan tambahan lainnya guna mendukung proyek ini seperti *early civil work*, pembangunan jalan, dan kegiatan pendukung lainnya (HSE, pengadaan lahan, perizinan, sosio-ekonomi). Progres proyek ini sampai akhir Desember 2019 sebesar 46,8% dan diperkirakan produksi gas akan mencapai 190 MMSCFD dengan investasi 1,53 miliar USD dan ditargetkan selesai pada kuartal II 2021.

c. Tangguh Train 3

Tangguh Train 3 merupakan proyek untuk meningkatkan produksi gas dengan cakupan penambahan *gas processing facilities* berupa train LNG dengan kapasitas 3,8 juta ton per tahun (MTPA) dan juga pembangunan empat kepala sumur lepas pantai disertai tiga *wellpad onshore* dan pengeboran 47 sumur tambahan. Proyek ini diperkirakan akan memberikan produksi tambahan sejumlah 700 MMSCFD dengan 3.000 BOPD. Proyek ini menelan biaya 8,9 miliar USD dengan target selesai pada kuartal III 2021 dan realisasi pekerjaan sudah mencapai 76%.

d. Abadi

Abadi merupakan salah satu lapangan gas raksasa yang berada di laut Arafura dengan kedalaman 600–800 meter. Lapangan ini dikelola oleh Inpex Masela dengan tujuan dari produksi gas adalah untuk pemenuhan kebutuhan gas lokal dan internasional. Produksi puncak dari proyek ini diperkirakan mencapai 150 MMSCFD dengan LNG (*liquified natural gas)* sebanyak 9,5 MTPA. Proyek ini menelan biaya 19,8 miliar USD dan produksi ditargetkan pada kuartal II 2027. Pada laporan tahun 2019, progress pekerjaan masih 0,743% dan masih dalam proses persetujuan *front end engineering design* (FEED).

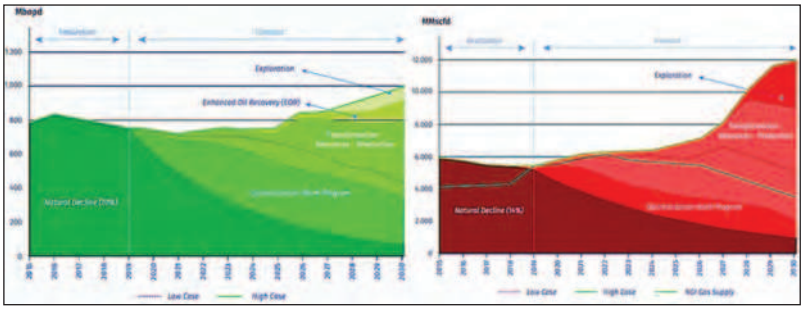
Target produksi migas pun juga telah ditetapkan oleh SKK Migas dengan program satu juta BOPD dan 120.000 MMSCFD. Upaya pertama untuk mencapai target tersebut dilakukan SKK Migas adalah reformasi organisasi dengan cara mengusung visi yang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

jelas, organisasi yang pintar, pelayanan satu pintu, komersialisasi, dan digitalisasi. Hal itu dilakukan guna mempermudah persetujuan proyek migas sehingga produksi migas pun dapat dirasakan lebih cepat. Upaya kedua pencapaian target adalah dari sisi teknis minyak dengan cara mempertahankan produksi *existing,* mengubah sumber daya ke produksi, mempercepat *enhanced oil recovery* (EOR), dan eksplorasi penemuan besar; sedangkan dari sisi teknis gas dilakukan upaya penambahan produksi gas dari aktivitas produksi, transformasi sumber daya ke produksi, dan optimalisasi program kerja yang akan dilakukan.

Pada 2015–2019, terdapat lima proyek WK non-konvensional yang baru ditandatangani, yaitu Selat Panjang, Central Bangkanai, Palmerah, Sakakemang, dan Kisaran. WK non-konvensional ini menghasilkan *shale hydrocarbon* dan gas metana batu bara (GMB). Namun, instrumen ekplorasi GMB berupa *rig* dengan kapasitas kecil masih belum tersedia. Target produksi minyak dan gas dapat dilihat pada Gambar 3.4.

Pemerintah telah mempersiapkan rancang bangun dalam lima tahun terakhir terhadap bidang migas, yaitu rancang bangun mini *airgun*, tabung *adsorbed natural gas* (ANG), desain tabung *vertical gas liquid* (VGL) atau dinamakan *isotank*, purwarupa *Faraday*, formulasi surfaktan dalam proses *EOR*, formulasi minyak lumas, penentuan



Sumber: SKK Migas (2019)

Gambar 3.4 Target Produksi Minyak untuk Mencapai Program Satu Juta BPOD dan 12.000 MMSCFD

Buku ini tidak diperjualbelikan.

komponen cairan rumen dalam produksi GMB, rekayasa *loading ramp* dan *substructure rig* dalam instrumen eksplorasi CBM, penelitian alat *injection fall-off* (IFO) *test* untuk pengembangan CBM, penelitian alat identifikasi sumur berbasis *ultrasonography* (USG) versi II tahap I, produksi gas metana skala kecil dengan pemanfaatan rumen, metana batu bara, dan air formasi, serta pemisahan gas karbon dioksida dengan pelarut berbasis kalium karbonat dengan promotor asam borat.

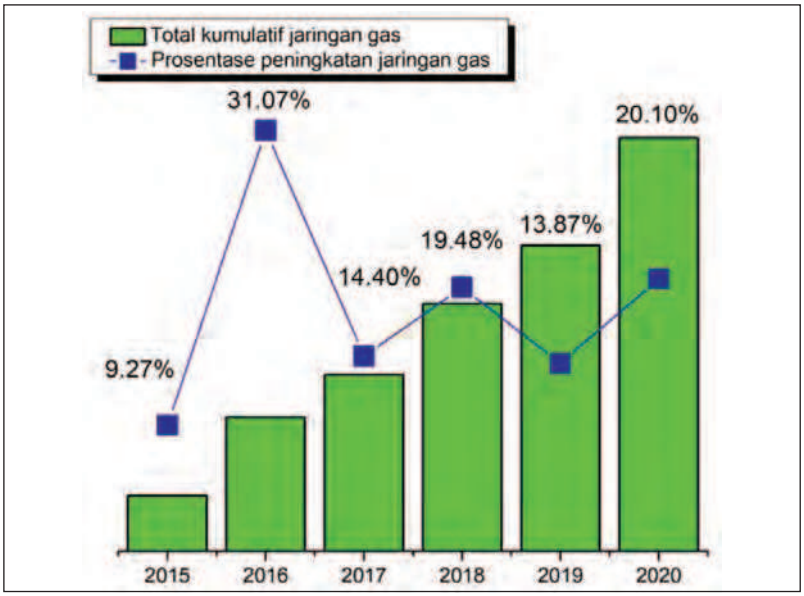
D. Pemanfaatan Gas Bumi Indonesia

Dalam indikator *Sustainable Development Goals* (SDGs) tujuan ketujuh mengenai energi, poin 7.1.2 menjabarkan tentang proporsi populasi dengan ketergantungan utama terhadap bahan bakar dan teknologi bersih yang diadaptasi menuju Peraturan Presiden No. 59 tahun 2017 dengan prospek pencapaian 1,1 juta sambungan rumah (SR) untuk jaringan gas kota pada 2019.

Selain itu, target dan program RUEN Indonesia merencanakan produksi biogas yang mencapai 47,4 MMSCFD pada 2025 terhadap sektor rumah tangga disertai percepatan substitusi minyak bumi oleh gas bumi. Peralihan ketergantungan tersebut diproyeksikan dengan pembangunan jaringan gas kota hingga 4,7 juta sambungan rumah dan *biogas digester* ditargetkan 1,7 juta rumah tangga pada tahun 2025 (Cahyono, 2019). Konstruksi infrastuktur jaringan gas kota sambungan rumah bersinggungan dengan salah satu tujuan SDGs dalam permasalahan akses bahan bakar memasak yang bersih untuk mendukung target nasional oleh RUEN yaitu reduksi emisi gas rumah kaca (GRK) dari bidang energi sebesar 34,8% atau 476 $MtCO_2e$ pada 2025 menuju 58,3% 2726 $MtCO_2e$ pada 2050.

Berdasarkan Gambar 3.5, peningkatan pembangunan infrastruktur tersebut meningkat signifikan dari 2015 sebanyak 220.000 rumah menjadi 319.000 rumah pada 2016. Target yang diumumkan untuk pencapaian 2021 adalah penambahan 120.800 sambungan rumah jaringan gas terhadap realisasi pada 2020 sebesar 673.000 rumah.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Kementerian ESDM (2021a)

Gambar 3.5 Perkembangan Total Kumulatif Jaringan Gas Indonesia dari 2015–2020

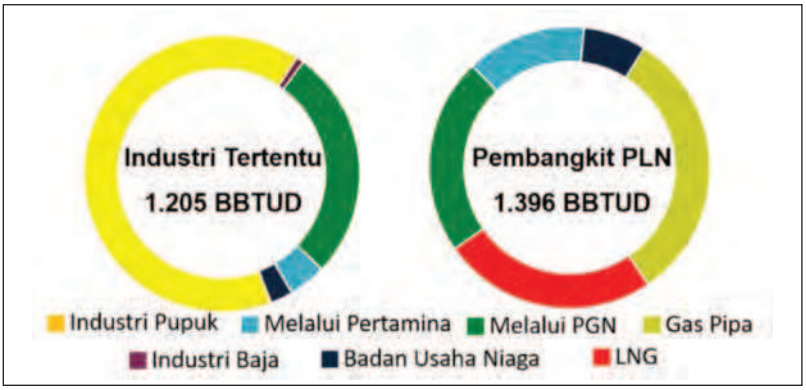
Pada publikasi pencapaian kinerja 2020 dan target 2021 yang disusun oleh Kementerian ESDM, realisasi pembangunan infrastruktur jaringan gas kota sebesar 135.286 sambungan rumah di 23 kabupaten/kota.

Kemudian, kuantitas produksi atau *lifting* gas bumi Indonesia pada 2020 sebesar 975 MBOEPD yaitu 98,29% dari target yang ditentukan dan ekspektasi yang diharapkan pada 2021 sebesar 1.007 MBOEPD. Penyesuaian harga gas telah ditentukan sesuai Keputusan Menteri ESDM No. 89K tahun 2020 dan No. 91K tahun 2020 yaitu enam USD untuk setiap satu *million metric British thermal unit* (MMBtu) atau setara dengan 26,8 meter kubik gas alam terhadap total volume 2,601 *billion British thermal unit per day* (BBTUD). Rincian tersebut meliputi alokasi terhadap industri tertentu dan pembangkit listrik

Buku ini tidak diperjualbelikan.

oleh PT PLN, masing-masing mencapai 18% dan 21% dari target *lifting* gas Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN). Gambar 3.6 mendeskripsikan alokasi gas terhadap industri baja sangat kecil dibandingkan industri pupuk. Persentase gas bumi yang dimanfaatkan badan usaha niaga termasuk rendah, hanya 2,66% dalam industri tertentu, sedangkan untuk pembangkit PLN sebesar 7,23%.

Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi, Tutuk Ariadji, menyatakan bahwa potensi gas bumi Indonesia lebih baik dibandingkan minyak seperti pada Blok Masela dan IDD maupun Blok East Natuna yang belum terusik kegiatan komersialisasi. Persiapan wilayah kerja migas patut dipertimbangkan dengan matang mengingat sebagian besar wilayah kerja yang dimanfaatkan saat ini tergolong lapangan tua pada tahun 2015–2018. Pusat Survei Geologi melaporkan terdapat total 36 rekomendasi wilayah kerja migas, tiga di antaranya berada di Jambi, Kutai Timur, dan Kutai yang termasuk wilayah kerja migas non-konvensional. Tahun 2021, Kepala Badan Geologi Eko Budi Lelono menyampaikan bahwa terdapat tiga rekomendasi wilayah kerja (RWK) konvensional dan satu wilayah kerja non-konvensional. Wilayah kerja konvensional yang dimaksud adalah RWK Migas



Sumber: Kementerian ESDM (2021a)

Gambar 3.6 Alokasi Distribusi Pemanfaatan *Lifting* Gas Indonesia 2020

Buku ini tidak diperjualbelikan.

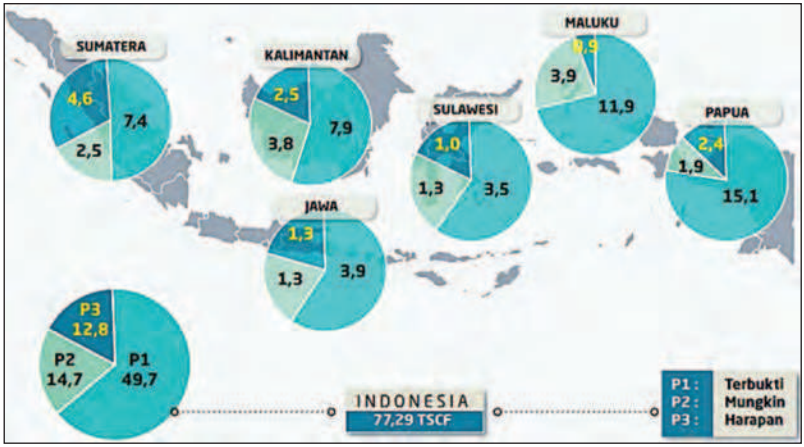
Banjarnegara, West Madura (Bawean II), Jawa Timur dan Mina-Button, Sulawesi Tenggara. Wilayah Riau, Sumatra Tengah dipilih sebagai RWK migas non-konvensional (Ramli, 2021).

Tabel 3.1 Data Gas Alam Indonesia 2009–2019 dalam Miliar Meter Kubik

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Produksi	78,0	87,0	82,7	78,3	77,6	76,4	76,2	75,1	72,7	72,8	67,5
Ekspor	26.9	32.4	28.7	24.4	23.1	21.7	21.6	22.4	21.7	20.8	16.5

Sumber: BP (2020)

Berdasarkan Tabel 3.1, Indonesia mengekspor gas alam pada 2019 terhadap sejumlah negara berbentuk LNG, yaitu Meksiko (0,3), Amerika Utara (0,3), Tiongkok (6,2), Jepang (5,7), Singapura (0,2), Korea Selatan (3,2), Taiwan (0,5), Thailand (0,4), dan wilayah Asia Pasifik (0,1) dalam satuan miliar meter kubik. Kemudian, gas alam juga dikomersialisasikan berupa jaringan pipa menuju Malaysia (0,6), Singapura (6,8) dengan total ekspor sebesar 7,4 dalam satuan miliar meter kubik (BP, 2020).



Sumber: Kementerian ESDM (2020)

Gambar 3.7 Peta Potensi Cadangan Gas Bumi Indonesia Tahun 2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Pemerintah dapat merancang eksplorasi lebih jauh di wilayah timur Indonesia dengan merujuk pada Gambar 3.7 sehingga diversifikasi dan pemerataan harga dalam distribusi gas untuk pembangkit listrik maupun jaringan gas kota menjadi lebih nyata.

E. Panas Bumi dan Pemanfaatannya

Panas bumi merupakan sumber energi alternatif yang berasal dari perut bumi yang dapat dimanfaatkan secara langsung maupun tidak langsung. Energi panas bumi ini cenderung lebih ramah lingkungan (tidak menghasilkan emisi seperti sumber energi fosil) karena yang dieksploitasi hanya panasnya saja. Pada dasarnya kegiatan untuk pemanfaatan panas bumi ini hampir sama dengan tahapan-tahapan pada migas yang dimulai dengan proses eksplorasi, pengeboran, dan produksi. Namun, untuk pemanfaatan panas bumi sangat bermacam-macam dan hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.8.

Blok pada Gambar 3.8 menjelaskan secara umum pemanfaatan panas bumi untuk kegiatan sehari-hari, mulai dari pemrosesan makanan, pengeringan kayu, pemandian air panas, budi daya jamur, pengeringan buah dan sayuran, serta pembangkitan listrik. Lindal (1973) mengklasifikasikan pemanfaatan panas bumi berdasarkan suhunya. Klasifikasi ini juga menggambarkan bagaimana panas bumi dapat dimanfaatkan secara langsung maupun tidak langsung. Pemanfaatan secara langsung di sini dapat dicontohkan seperti pencairan salju, pengeringan buah, pemrosesan makanan, pemandian air panas, pengeringan kayu, dan lain-lain; sedangkan untuk pemanfaatan secara tidak langsung seperti Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Menurut Lindal, PLTP dapat beroperasi dengan memanfaatkan panas sekitar suhu 100 sampai lebih dari 350^{0}C, bergantung pada kedalaman dan karakteristik dari sumur panas bumi. Begitu juga untuk pemanfaatan yang lain berdasarkan blok-blok yang terdapat pada Gambar 3.8.

Pada dasarnya pemanfaatan panas bumi untuk PLTP ada berbagai metode, mulai dari proses pembangkit listrik dengan *dry steam, flash steam, binary cycle,* dan kombinasi (DiPippo, 2015). Pemilihan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Sumber: Lindal (1973)

Gambar 3.8 Diagram Lindal Terkait Pemanfaatan Panas Bumi

metode ini berdasarkan karakteristik uap yang dihasilkan dari panas bumi, apakah kering, basah, berbahaya, atau tidak. Jika uap yang dihasilkan kering, dalam artian kondisi uapnya pada *superheated*, sistem pembangkit yang dapat digunakan yaitu sistem *dry steam*, yang memanfaatkan secara langsung uap kering tersebut untuk menggerakkan turbin. Hal ini berbeda jika uap yang dihasilkan masih basah, uap ini tidak dapat dimanfaatkan secara langsung untuk memutar turbin karena dikhawatirkan akan merusak turbin (adanya efek *droplet* yang mengakibatkan erosi pada bilah turbin). Oleh karena itu, perlu metode *flash steam* untuk memisahkan uap kering yang kemudian dapat digunakan untuk memutar turbin. Bagaimana jika uap yang dihasilkan dari bawah tanah itu mengandung material yang sangat korosif dan berbahaya? Untuk mengatasi hal ini, metode *binary cycle* merupakan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

sistem yang tepat karena uap yang dihasilkan tidak dimanfaatkan langsung untuk memutarkan turbin, namun perlu adanya proses perpindahan panas terlebih dahulu dalam *heat exchanger*.

PLTP dengan suhu tinggi biasanya menggunakan air sebagai media transfer panasnya dalam sistem pembangkitan yang mampu mengubah fase air dari *liquid* menjadi gas yang sering disebut dengan uap. Dewasa ini banyak metode pengganti air sebagai media transfer panas dalam siklus tertutup pada proses pembangkitan listrik. Metode-metode itu, di antaranya, yaitu siklus Rankine organik, Kalina (Campos Rodríguez dkk., 2013); *Trilateral Flash* (Smith dkk., 2001); dan lain-lain. Sistem PLTP ini biasanya hanya memanfaatkan suhu uap dengan kalori rendah, kurang dari 200^{0}C. Mesin-mesin yang digunakan dalam sistem dengan siklus Rankine organik dan *Trilateral Flash* ini hampir sama, hanya saja yang berbeda adalah proses termodinamikanya.

Penjabaran sebelumnya merupakan beberapa metode untuk pemanfaatan sumber panas bumi yang dilakukan di atas permukaan bumi. Sebenarnya tak hanya itu saja yang penting untuk dibahas, namun juga kegiatan eksplorasi dan eksploitasi yang merupakan suatu tantangan dalam sektor ini. Tantangan ini tentu saja berkaitan dengan penentuan lokasi panas yang diinginkan yaitu lokasi yang strategis dan kedalaman dari pengeboran. Islandia melalui program *Iceland Deep Drilling Project* (IDDP) mencoba melakukan eksplorasi panas bumi untuk mendapatkan suhu sekitar 400^{0}C dengan pengeboran ke magma (Elders dkk., 2014). Tak hanya itu, beberapa alternatif eksplorasi panas bumi lain yaitu melakukan eksploitasi panas bumi pada wilayah kerja migas (Wang dkk., 2018).

F. Indonesia dan Panas Buminya

Indonesia sangat beruntung karena terletak di antara irisan cincin api (*ring of fire)* dan sabuk Alpide yang terdapat banyak potensi sumber panas bumi di bawahnya. Dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) disebutkan bahwa Indonesia memiliki potensi panas bumi sebesar 29.544 MW dengan kapasitas terpasangnya sebesar

Buku ini tidak diperjualbelikan.

1.438,5 MW atau pemanfaatannya baru sebesar 4,9% pada tahun 2015 (PLN, 2019). Pada tahun 2019, kapasitas terpasang PLTP mengalami peningkatan menjadi sebesar 2.131 MW (Kementerian ESDM, 2021b). Dalam Rencana Strategis ESDM 2020–2024 ini dijelaskan upaya pemerintah dalam rangka mendorong pengembangan panas bumi di Indonesia di antaranya melalui harmonisasi dan penyempurnaan peraturan perundang-undangan terkait panas bumi, yaitu:

a. Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 28 Tahun 2016 tentang Bonus Produksi;
b. Permen ESDM Nomor 44 Tahun 2016 tentang Bentuk dan Tata Cara Penempatan Serta Pencarian Komitmen Eksplorasi Panas Bumi;
c. PP Nomor 7 Tahun 2017 tentang Panas Bumi untuk Pemanfaatan Tidak Langsung;
d. Permen ESDM Nomor 21 Tahun 2017 tentang Pengelolaan Limbah Lumpur Bor dan Serbuk Bor pada Pemboran Panas Bumi;
e. Permen ESDM Nomor 23 Tahun 2017 tentang Tata Cara Rekonsiliasi, Penyetoran, dan Pelaporan Bonus Produksi Panas Bumi;
f. Permen ESDM Nomor 36 Tahun 2017 tentang Tata Cara PSP dan PSPE Panas Bumi;
g. Permen ESDM Nomor 37 Tahun 2017 tentang Wilayah Kerja Panas Bumi untuk Pemanfaatan Tidak Langsung;
h. Permen ESDM Nomor 49 Tahun 2017 tentang Perubahan atas Permen ESDM Nomor 10 Tahun 2017 tentang Pokok-Pokok dalam Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik;
i. Permen ESDM Nomor 33 Tahun 2018 tentang Pengelolaan dan Pemanfaatan Data dan Informasi Panas Bumi Untuk Pemanfaatan Tidak Langsung;
j. Permen ESDM Nomor 37 Tahun 2018 tentang Penawaran Wilayah Kerja Panas Bumi, Pemberian Izin Panas Bumi, dan Penugasan Pengusahaan Panas Bumi.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Harmonisasi dan penyempurnaan peraturan perundang-undangan panas bumi ini memberikan angin segar sehingga pemanfaatannya tak hanya difokuskan pada pemanfaatan untuk pembangkit listrik, namun juga pemanfaatan langsung seperti yang dijelaskan pada subbab sebelumnya. Tentunya hal ini akan berimbas langsung pada masyarakat nantinya.

Tak hanya itu, Rencana Strategis ESDM 2020–2024 ini juga menjelaskan bahwa akan ada penambahan kapasitas PLTP selama lima tahun ke depan sebesar 1.027 MW melalui pembangunan PLTP di wilayah Indonesia bagian barat maupun timur dan beberapa upaya ditempuh dengan cara pendanaan eksplorasi panas bumi oleh pemerintah, pemberian insentif *Levelized Cost of Electricity* (LCOE), fasilitasi akses pendanaan proyek, regulasi dan advokasi untuk pemanfaatan di kawasan konservasi, dukungan dari masyarakat, peningkatan permintaan konsumsi energi, dan integrasi sistem perbaikan tata kelola. Upaya-upaya tersebut sedang diusahakan pemerintah agar penambahan kapasitas PLTP meningkat secara pesat.

G. Rekomendasi Terkait Migas dan Panas Bumi Indonesia Masa Depan

Indonesia dahulu kaya akan minyak namun sekarang sudah tidak lagi. Produksi yang kian menurun ditambah konsumsi yang terus meningkat membawa ketidakstabilan pemenuhan permintaan akan konsumsi minyak bumi. Penuaan lapangan minyak, turunnya cadangan, dan sulitnya penemuan cadangan baru membuat operasi eksplorasi dan eksploitasi migas Indonesia tidak semudah dahulu. Program kerja telah dilaksanakan dan direncanakan untuk beberapa tahun ke depan. Rencana strategis nasional pun menjadi jalan untuk menjaga dan meningkatkan produksi migas hulu di masa depan. Program satu juta barel minyak telah ditetapkan sebagai upaya pemenuhan konsumsi lokal.

Melihat tendensi produksi migas yang telah beralih dari pemanfaatan minyak ke pemanfaatan gas, pemerintah harus memastikan gas terproduksi tersebut dimanfaatkan untuk kebutuhan nasional

Buku ini tidak diperjualbelikan.

terlebih dahulu baru setelahnya diekspor. Selama ini, produksi gas akan langsung diekspor karena tidak adanya konsumsi lokal. Di sini, pemerintah berperan untuk membuat jaringan gas agar masyarakat dapat menikmati dan memanfaatkan sumber daya secara lokal.

Namun, pemerintah harus ingat bahwa cadangan migas cepat atau lambat akan habis. Target yang ditetapkan menjadi tidak berarti jika tidak ada migas yang dapat diproduksi. Eksplorasi pun tidak menjanjikan penemuan cadangan besar yang mudah dan cepat untuk diproduksi. Butuh waktu 5–30 tahun dari penemuan cadangan baru untuk dapat diproduksi tergantung dari kesulitan teknisnya. Investasi tinggi EOR dibutuhkan untuk memproduksi lapangan tua yang mungkin secara ekonomi tidak menarik untuk dilakukan. Peran pemerintah diperlukan untuk mengubah pola pikir masyarakat dalam upaya untuk mengurangi tingkat konsumsi minyak bumi di level konsumen akhir. Dengan fakta migas tidak dapat diperbaharui dan tingkat penemuan cadangan dari eksplorasi yang rendah, perlu adanya rencana tambahan apabila migas tidak dapat menjadi tumpuan pemenuhan kebutuhan energi di Indonesia.

Gas bumi menjadi salah satu komoditas pengganti bahan bakar minyak bumi. Pengembangan eksplorasi melalui peningkatan kualitas metode eksplorasi dan jaringan distribusi gas hasil produksi harus dilakukan dengan mempelajari dan memodifikasi teknologi yang ada. Sistem pembangunan infrastruktur eksplorasi *off-shore* gas bumi yang lebih canggih dan terjamin kehandalannya harus diperkenalkan sehingga terjadi kerjasama saling mendukung antara masyarakat dengan pemangku kebijakan, salah satunya dalam penentuan lokasi cadangan gas bumi Indonesia, khususnya potensi di wilayah timur seperti maluku dan papua.

Pada eranya, migas merupakan komoditas yang sangat melimpah di Indonesia. Banyak sumur pengeboran untuk eksplorasi dan eksploitasi. Beberapa di antaranya ada yang sudah tidak berproduksi dan ditutup. Sebenarnya sumur-sumur yang sudah tidak berproduksi migas ini dapat digunakan kembali dengan memanfaatkan panasnya saja. Teknologi ini sama halnya dengan panas bumi, namun panas

Buku ini tidak diperjualbelikan.

bumi yang dihasilkan merupakan dari WK migas. Peluang seperti ini bisa dimanfaatkan mengingat kegiatan ekplorasi dan ekploitasi sudah pernah dilakukan sehingga infrastruktur pasti sudah dibangun. Hal ini tentu sangat menguntungkan dari sisi investasi karena tidak perlu membangun infrastruktur dari awal lagi.

Panas bumi merupakan anugrah bagi Indonesia yang memiliki potensi melimpah. Perlu adanya kajian secara komprehensif untuk pemanfaatannya secara lebih efektif dan efisien, baik itu secara langsung maupun tidak langsung. Hal ini juga perlu diperhatikan, tidak hanya cara meningkatkan pemanfaatan panas bumi, namun aspek lain juga perlu dipertimbangkan. Banyak sekali panas bumi terletak di bawah hutan lindung atau konservasi. Tentunya hal ini juga dilema bagi pemerintah terkait pemanfaatan panas bumi atau menjaga kelestarian hutan lindung dan konservasi. Kondisi yang demikian mengarah ke kebijakan pemerintah yang perlu disinkronkan kembali, baik dari kementerian ESDM maupun kementerian lingkungan hidup sehingga ke depannya tidak ada perdebatan terkait hal tersebut. Tak hanya kebijakan terkait eksplorasi dan eksploitasi saja, namun kebijakan seperti penentuan tarif listrik yang dihasilkan dari PLTP pun juga semestinya harus dipertimbangkan dan dibuat lebih kompetitif, misalnya subsidi migas dialihkan ke subsidi harga listrik dari PLTP ini. Penggantian subsidi ini sebagai upaya untuk melakukan transisi dari penggunaan energi migas menjadi energi listrik seiring dengan peralihan kendaraan bahan bakar minyak (BBM) ke kendaraan listrik.

Selain itu, perlu juga pendekatan ke masyarakat terkait teknologi panas bumi yang ramah lingkungan dan aman. Pendekatan sosial ini dirasa sangat perlu untuk memberikan gambaran dan pengertian bahwa teknologi yang digunakan aman dan ramah lingkungan. Perlu adanya pengawasan dan kontrol dari pemerintah juga terkait hal ini. Pemerintah juga perlu ikut andil dalam sosialisasi serta pengawasan dalam praktik lapangan.

Terkait eksplorasi dan eksploitasi, perlu peran pemerintah untuk meningkatkan kualitas sumber daya manusia yang unggul di bidang panas bumi ini. Hal tersebut dilakukan untuk membuktikan bahwa

Buku ini tidak diperjualbelikan.

negara kita tidak hanya negara yang kaya akan sumber daya alamnya namun juga kaya akan keilmuannya sehingga dapat memanfaatkan sumber daya alamnya seefektif dan seefisien mungkin. Melakukan *retrofit* dan eksploitasi pada lapangan migas yang sudah tidak berproduksi untuk memanfaatkan panas buminya juga dapat dilakukan di Indonesia. Pemerintah juga perlu membangun kolaborasi riset unggulan dengan institusi nasional maupun internasional terkait pemanfaatan panas bumi di Indonesia. Tak lupa, infrastruktur juga perlu dipersiapkan seperti jalan dan jaringan listrik.

Seperti yang diketahui bersama, tahun 2020 merupakan tahun dengan penuh tantangan yaitu pada tahun ini wabah pandemi Covid-19 menyebar luas di dunia dan tentunya hal ini juga berimbas ke Indonesia. Beberapa hal perlu dipertimbangkan dan dikaji lebih mendalam lagi untuk pemanfaatan panas bumi di Indonesia ke depan. Telah disebutkan di subbab sebelumnya bahwa dalam lima tahun ke depan akan ada penambahan kapasitas terpasang PLTP di Indonesia sebesar 1.027 MW. Mengingat pandemi yang sangat memengaruhi sektor ekonomi begitu juga kinerja pada berbagai industri, tentu akan berimbas juga pada rencana strategis yang telah disebutkan. Perlu adanya mitigasi selama proses *recovery* pandemi Covid-19 ini. Hal yang menjadi pertanyaan adalah jika imbas pandemi ini mengakibatkan keterlambatan pada proyek-proyek PLTP, bagaimana langkah rencana strategis Indonesia ke depannya? Pemerintah perlu secepat mungkin menyusun langkah strategis mitigasi ini, misalnya adanya substitusi keterlambatan proyek panas bumi ke pemanfaatan energi terbarukan yang lainnya seperti pemasangan panel surya dengan tujuan yang sama yaitu meningkatkan bauran sumber energi terbarukan dalam energi total.

REFERENSI

Bishop, Michele G. (2000). *Petroleum systems of the Northwest Java Province, Java and offshore Southeast Sumatra, Indonesia*. United States Geological Survey.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BP. (2020). *Statistical review of world energy 2020: 69th edition*. https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf

Cahyono, B. (2019). National energy policy in Indonesia and it is alignment to Sustainable Development Goals 7 (SDG7) and Paris Agreement (NDC). Dalam *Workshop of National Expert SDG Tool for Energy Planning (NEXSTEP) - UNESCAP*, *7*, 1–13. https://www.unescap.org/sites/default/files/UN ESCAP Workshop Indonesia Mr. Budi Cahyono.pdf

Campos Rodríguez, C. E., Escobar Palacio, J. C., Venturini, O. J., Silva Lora, E. E., Cobas, V. M., Marques Dos Santos, D., Lofrano Dotto, F. R., & Gialluca, V. (2013). Exergetic and economic comparison of ORC and Kalina cycle for low temperature enhanced geothermal system in Brazil. *Applied Thermal Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.11.012

DiPippo, R. (2015). *Geothermal power plants: principles, applications, case studies and environmental impact: Fourth edition. Butterworth-Heinemann. https://doi.org/10.1016/C2014-0-02885-7*

Elders, W. A., Frioleifsson, G. O., & Albertsson, A. (2014). Drilling into magma and the implications of the Iceland Deep Drilling Project (IDDP) for high-temperature geothermal systems worldwide. *Geothermics*. https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2013.05.001

Kementerian ESDM. (2014). *Pembangunan jaringan gas bumi untuk rumah tangga*. Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi Kementerian ESDM Republik Indonesia. http://migas.esdm.go.id/uploads/buku-jasrgas-isi.pdf

Kementerian ESDM. (2021a). *Capaian kinerja 2020 & program 2021*. https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-capaian-kinerja-tahun-2020-dan-program-kerja-tahun-2021-sektor-esdm.pdf

Kementerian ESDM. (2021b). *Rencana strategis kementerian energi dan sumber daya mineral 2020–2024*. https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-rencana-strategis-kesdm-2020-2024.pdf

Lindal, B. (1973). Industrial and other applications of geothermal energy. *Geothermal Energy*. UNESCO.

PLN. (2019). *RUPTL - Rencana usaha penyediaan tenaga listrik 2019–2028*. https://gatrik.esdm.go.id//assets/uploads/download_index/files/5b16d-kepmen-esdm-no.-39-k-20-mem-2019-tentang-pengesahan-ruptl-pt-pln-2019-2028.pdf

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Ramli, R. R. (2021). Badan geologi rekomendasikan 4 blok migas. *Kompas*. https://money.kompas.com/read/2021/01/21/200000826/badan-geologi-rekomendasikan-4-blok-migas

SKK Migas. (2019). Laporan tahunan 2019. https://www.skkmigas.go.id/ebook/laporan-tahunan-2019

Smith, I. K., Stosic, N., & Kovacevic, A. (2001). Power recovery from low cost two-phase expanders. *Transactions-Geothermal Resources Council*.

van Bemmelen, R. W. (1949). *The geology of Indonesia, volume II economic geology*. Martinus Njihoff.

Wang, K., Yuan, B., Ji, G., & Wu, X. (2018). A comprehensive review of geothermal energy extraction and utilization in oilfields. Dalam *Journal of Petroleum Science and Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.05.012

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB IV

Regulasi Migas dan Batu Bara Indonesia dalam Mencapai *Zero Carbon Footprint*

Rahel Eterlita

A. Tujuan Negara Indonesia

Setiap negara memiliki tujuan yang ingin dicapai dan tujuan negara Indonesia tercantum dalam UUD 1945 alinea ke-4. Tujuan tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut: 1) melindungi segenap bangsa Indonesia dan seluruh tumpah darah Indonesia; 2) memajukan kesejahteraan umum; 3) mencerdaskan kehidupan bangsa; dan 4) ikut melaksanakan ketertiban dunia yang berdasarkan kemerdekaan, perdamaian abadi, dan keadilan sosial. Dalam rangka mencapai tujuan tersebut, setiap negara menerapkan tata cara dan aturan main yang harus diikuti oleh masyarakatnya, serta masyarakat luar yang ingin bekerja sama dengan Indonesia. Hal ini lah yang disebut dengan regulasi.

Seperti yang tercantum dalam tujuan nasional, memajukan kesejahteraan umum adalah salah satu tantangan yang saat ini sedang dihadapi oleh negara Indonesia karena pada kenyataannya tidak mudah untuk memberikan kesejahteraan untuk 270,6 juta penduduk (The World Bank, 2019) yang tersebar pada 1,905 juta km^2 (luas geo-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

grafi Indonesia) (Bokhoven, 2018). Untuk memajukan kesejahteraan umum, pemerintah mengelola sumber daya alam yang terkandung di dalam wilayah geografis Indonesia dan migas serta batu bara merupakan salah satu sumber daya alam yang dikelola. Meskipun demikian, migas dan batu bara termasuk komoditas strategis yang pengelolaanya perlu dicermati karena Indonesia merupakan salah satu pasar yang menarik bagi investor asing (Indonesia Legal Team, 2019).

B. Regulasi Migas Dan Batu Bara Indonesia

Peraturan mengenai kekayaan alam Indonesia sudah sejak awal tercantum dalam Undang-Undang Dasar (UUD) 1945. Hal ini menunjukkan bahwa para pendiri negara telah sadar akan pentingnya sumber daya alam yang dimiliki Indonesia serta pengelolaannya. "Bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat", UUD 1945 Pasal 33 ayat 3.

Melihat UUD tersebut, pembaca dapat menyimpulkan bahwa Indonesia berusaha untuk melindungi kekayaan alamnya. Kata "dikuasai" menyiratkan bahwa negara ingin melindungi sumber daya alam yang dimilikinya sebelum mempergunakannya untuk kemakmuran rakyat. Dengan berlimpahnya sumber daya alam yang dimiliki Indonesia, regulasi yang tepat sasaran sangat diperlukan untuk mengoptimalkan pengelolaan sumber daya alam agar dapat menjamin pembangunan berkelanjutan. Untuk memperjelas, sumber daya alam di Indonesia memiliki beberapa kategori. Menurut Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (Kemendikbud) RI, potensi sumber daya alam Indonesia dapat dikategorikan manjadi hutan, lautan, minyak bumi, gas alam, dan batu bara (Putri, 2020).

Sebagai salah satu sumber daya alam, minyak dan gas memiliki peraturan tersendiri yang telah disusun oleh pemerintah. Terdapat beberapa tingkatan regulasi mengenai migas di Indonesia (EITI Indonesia, 2017b), antara lain

Buku ini tidak diperjualbelikan.

1. Konstitusi: Undang-Undang (UU) No. 22/2001 tentang Minyak dan Gas
2. Peraturan Pemerintah:
    - PP 35/2004 tentang Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi
    - PP 34/2005 tentang Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi
    - PP 55/2009 tentang Perubahan Kedua atas Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 2004 tentang Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi
    - PP 79/2010 tentang Biaya Operasi yang Dapat Dikembalikan dan Perlakuan Pajak Penghasilan di Bidang Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi
    - PP 23/2015 tentang Pengelolaan bersama Sumber Daya Alam Minyak dan Gas Bumi di Aceh
3. Peraturan Presiden dan Dekret Presiden:
    - Inpres 2/2012 tentang Peningkatan Produksi Minyak Bumi Nasional
    - Perpres 95/2012 tentang Pengalihan Pelaksanaan Tugas dan Fungsi Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi
    - Perpres 9/2013 tentang Penyelenggaraan Pengelolaan Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi
4. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral:
    - Permen ESDM 48/2017 tentang Pengawasan Pengusahaan di Sektor Energi dan Sumber Daya Mineral
    - Permen ESDM 28/2006 tentang Pedoman dan Tata Cara Pelaksanaan Survei Umum dalam Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

- Permen ESDM 37/2006 tentang Tata Cara Pengajuan Rencana Impor dan Penyelesaian Barang yang Dipergunakan untuk Operasi Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi
- Permen ESDM 40/2006 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 45/2005 tentang Instalasi Ketenagalistrikan
- Permen ESDM 2/2008 tentang Pelaksanaan Kewajiban Pemenuhan Kebutuhan Minyak dan Gas Bumi Dalam Negeri oleh Kontraktor Kontrak Kerjasama
- Permen ESDM 3/2008 tentang Pedoman dan Tata Cara Pengembalian Bagian Wilayah Kerja yang Tidak Dimanfaatkan Oleh Kontraktor Kontrak Kerjasama dalam Rangka Peningkatan Produksi Migas
- Permen ESDM 22/2008 tentang Jenis-Jenis Biaya Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi yang Tidak Dapat dikembalikan Kepada Kontraktor Kontrak Kerjasama
- Permen ESDM 35/2008 tentang Tata Cara Penetapan dan Penawaran Wilayah Kerja Minyak dan Gas Bumi
- Permen ESDM 5/2012 tentang Tata Cara Penetapan dan Penawaran Minyak dan Gas Bumi Non-konvensional
- Permen ESDM 15/2015 tentang Pengelolaan Wilayah Kerja Minyak dan Gas Bumi yang akan Berakhir Kontrak Kerja Samanya
- Permen ESDM 8/2017 tentang Kontrak Bagi Hasil Gross Split

Selain itu, pemerintah Indonesia juga menetapkan sejumlah peraturan mengenai batu bara (EITI Indonesia, 2017a), antara lain

1. Undang-Undang:
   - UU 4/2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batu Bara
   - UU 23/2014 tentang Pemerintahan Daerah

Buku ini tidak diperjualbelikan.

2. Peraturan Pemerintah:
    - PP 22/2010 tentang Wilayah Pertambangan
    - PP 55/2010 tentang Pembinaan dan Pengawasan Minerba
    - PP 78/2010 tentang Reklamasi Tambang
    - PP 9/2012 tentang Jenis Tarif Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) Minerba
    - PP 23/2010 tentang Kegiatan Usaha Minerba
    - PP 24/2012 tentang Kegiatan Usaha Minerba
    - PP 1/2014 tentang Kegiatan Usaha Minerba
    - PP 77/2014 tentang Kegiatan Usaha Minerba
    - PP 1/2017 tentang Kegiatan Usaha Minerba
3. Inpres:
    - Inpres 3/2013 tentang Percepatan Peningkatan Nilai Tambah Mineral
    - Inpres 1/2012 tentang Pengawasan Usaha Batu Bara
4. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral:
    - Permen ESDM 48/2017 tentang Pengawasan Pengusahaan di Sektor Energi dan Sumber Daya Alam
    - Permen ESDM 25/2015 tentang Pendelegasian Perizinan Pelayanan Terpadu Satu Pintu (PTSP)
    - Permen ESDM 32/2015 tentang Izin Khusus Minerba
    - Permen ESDM 33/2015 tentang Tanda Batas WIUP /K
    - Permen ESDM 42/2016 tentang Standarisasi Kompetensi Minerba
    - Permen ESDM 43/2015 tentang Evaluasi Penerbitan Izin Usaha Pertambangan (IUP)
    - Permen ESDM 9/2016 tentang Tata Cara Penyediaan dan Penetapan Harga Batu Bara untuk Pembangkit Listrik Mulut Tambang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

- Permen ESDM 24/2016 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 09 Tahun 2016 tentang Tata Cara Penyediaan dan Penetapan Harga Batu Bara untuk Pembangkit Listrik Mulut Tambang
- Permen ESDM 5/2017 tentang Peningkatan Nilai Tambah Mineral Dalam Negeri
- Permen ESDM 6/2017 tentang Tata Cara Rekomendasi Ekspor
- Permen ESDM 9/2017 tentang Tata Cara Divestasi Saham Minerba
- Permen ESDM 15/2017 tentang Tata Cara Pemberian Izin Usaha Pertambangan Khusus Operasi Produksi sebagai Kelanjutan Operasi Kontrak Karya atau Perjanjian Karya Pengusahaan Pertambangan Batu Bara

Melalui rangkaian peraturan yang sudah dijabarkan, dapat dilihat bahwa pemerintah telah menerapkan tata cara bermain yang detail dan spesifik bagi masyarakat mengenai migas dan batu bara, mengingat kedua komoditas tersebut memiliki makna strategis bagi negara. Hal yang perlu menjadi bahan pertimbangan selanjutnya adalah bagaimana aturan tersebut dapat mendukung pembangunan berkelanjutan. Untuk mencapai pembangunan berkelanjutan dalam bidang industri energi, terutama migas dan batu bara, perlu diutamakan konsep *zero carbon footprint*.

C. Konsep *Zero Carbon Footprint* dan Posisi Indonesia

Carbon footprint adalah jumlah total emisi gas rumah kaca (termasuk CO_2 dan metana) yang terbentuk dari aktivitas sehari-hari, seperti produksi, penggunaan barang, dan akhir masa pakai dari suatu produk atau jasa (Albeck-Ripka, 2017). Dengan demikian, *net-zero carbon footprint* atau *carbon neutrality* dapat dijelaskan sebagai pencapaian suatu

Buku ini tidak diperjualbelikan.

keadaan ketika emisi gas rumah kaca sama dengan nol dengan cara menyeimbangkan jumlah karbon yang dilepaskan ke udara dengan jumlah karbon yang diasingkan (UN Environment Programme, 2019).

Net-zero carbon diinisiasi oleh United Nations Environment Programme (UNEP) pada Februari 2008 dengan Kosta Rika, Selandia Baru, Islandia, dan Norwegia sebagai empat negara yang pertama kali berpartisipasi dalam *Climate Neutral Network* (CN Net) (Lean & Kay, 2011). Sebelumnya, PBB juga telah meluncurkan *UN Climate Neutral Strategy* yang diterapkan di masing-masing entitas PBB pada tahun 2007 dengan UNEP yang dipilih sebagai penanggung jawab implementasi strategi tersebut (UN Environment Programme, 2019). Selain

Tabel 4.1 Emisi Gas Rumah Kaca Menurut Jenis Sektor

Tahun	Sektor						Jumlah
	Energi	IPPU	Pertanian	Limbah	FOLU	Kebakaran Hutan	
2001	341.919	48.269	94.134	67.602	329.243	50.885	932.053
2002	349.485	41.688	93.856	70.063	373.189	301.753	1.230.034
2003	378.050	41.402	94.863	73.061	328.958	132.075	1.048.410
2004	380.434	43.146	96.586	75.225	475.851	232.018	1.303.260
2005	376.988	42.296	98.492	77.216	439.638	258.887	1.293.516
2006	386.100	38.641	97.828	82.578	479.246	510.710	1.595.103
2007	402.989	35.919	10. 487	83.933	553.803	62.747	1.240.878
2008	391.784	36.499	98.659	85.023	513.712	81.744	1.207.420
2009	405.653	37.546	102.956	89.326	620.566	299.920	1.555.967
2010	453.235	36.033	104.501	87.669	383.405	51.383	1.116.226
2011	507.357	35.910	103.161	91.853	427.310	189.026	1.354.617
2012	540.419	40.078	106.777	95.530	487.928	207.050	1.477.781
2013	496.030	39.110	106.814	100.515	402.252	205.076	1.349.797
2014	531.142	47.489	107.319	102.834	480.033	499.389	1.768.206
2015	536.306	49.297	111.830	106.061	766.194	802.870	2.372.559
2016	538.025	55.307	116.690	112.351	545.181	90.267	1.457.821
2017	558.890	55.395	121.686	120.191	282.098	12.513	1.150.772

Sumber: BPS (2019)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

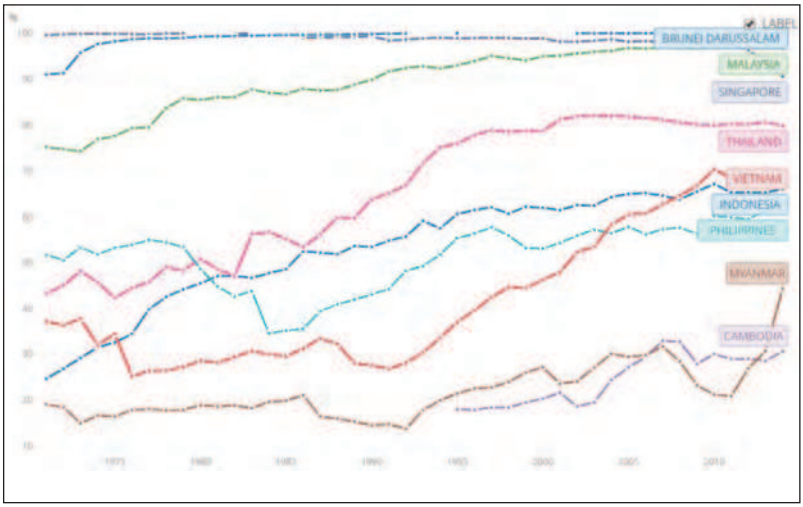
itu, konferensi internasional *United Nations Framework Convention of Climate Change* (UNFCCC) yang melahirkan perjanjian internasional *Paris Agreement* 2015 pun akhirnya membawa 185 negara di dunia, termasuk Indonesia, untuk mengurangi emisi gas rumah kacanya pada tahun 2030 (The Editors of Encyclopedia Britannica, 2019).

Emisi gas rumah kaca dapat dihasilkan oleh berbagai industri, namun demikian, kuantitas *carbon footprint* yang paling besar hingga saat ini dihasilkan oleh sektor energi (lihat Tabel 4.1). Oleh karena itu, regulasi di sektor energi perlu memfasilitasi para pelaku bisnis agar jumlah karbon yang dihasilkan oleh aktivitas produksinya tidak membahayakan lingkungan. Untuk berpartisipasi di komunitas internasional dalam rangka menurunkan emisi, Indonesia juga menyatakan komitmen mengurangi *carbon footprint*-nya sebanyak 29% pada tahun 2030 melalui usaha mandiri dan 41% menggunakan bantuan internasional dengan megeluarkan *Intended Nationally Determined Contribution* (INDC) pada tahun 2015 (Kemlu RI, 2019). INDC tersebut terdiri dari bantuan finansial internasional, transfer teknologi, dan pembangunan kapasitas. Namun demikian, kebijakan sektoral di Indonesia masih dianggap tidak konsisten dengan *Paris Agreement*, terutama mengenai batu bara, efisiensi energi di industri, serta penggundulan hutan (Climate Transparency, 2019). Predikat sebagai salah satu negara penghasil emisi gas rumah kaca terbesar di dunia pun tidak terhindarkan dari Indonesia (Wijaya & Chrysolite, 2017).

D. Penggunaan Energi Fosil Indonesia

Negara-negara di dunia telah menyelaraskan peraturan dalam negerinya untuk mencapai *net-zero carbon emission*. Bahkan, di antara negara tersebut sudah ada beberapa negara yang berhasil mencapai *net-zero carbon emission*, yaitu Suriname dan Butan serta enam negara lainnya, yaitu Swedia, Inggris, Prancis, Denmark, Selandia Baru, dan Hungaria yang sudah mengimplementasikan target tersebut dalam peraturan dalam negerinya (Bazilian & Gielen, 2020). Indonesia memang tidak tercantum dalam daftar negara-negara tersebut,

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: The World Bank (2014)

Gambar 4.1 Konsumsi Energi Bahan Bakar Fosil

namun apabila dibandingkan negara ASEAN, penggunaan energi fosil (termasuk migas dan batu bara) Indonesia berada di posisi tengah yaitu 62,4% dari total penggunaan energi, masih berada di bawah negara tetangganya seperti Malaysia dan Singapura (The World Bank, 2014). Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa dalam ranah regional, Indonesia masih memiliki pendekatan regulasi yang optimal untuk mengatur permasalahan energi fosil (lihat Gambar 4.1 dan Tabel 4.2).

Regulasi mengenai emisi gas rumah kaca dan manajemen energi telah diatur dalam UU No. 30 tahun 2007 tentang Energi dan Peraturan Pemerintah No. 70 tahun 2009 tentang Konservasi Energi. Kedua peraturan ini menyebutkan dengan jelas bahwa pengguna energi yang menggunakan energi sama atau lebih besar dari 60.000 setara ton minyak per tahun wajib melakukan program konservasi energi, pelaksanaan audit secara berkala, melaksanakan rekomendasi hasil audit energi, dan pelaporan pelaksanaan konservasi energi setiap tahun kepada Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (Kementerian ESDM, 2019). Pengguna energi dalam hal ini mengacu kepada industri yang melaksanakan bisnisnya di sektor energi.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Indonesia merupakan negara dengan ekonomi terbesar serta produsen dan eksportir bahan bakar fosil terbesar di Asia Tenggara. Indonesia juga merupakan negara pengekspor batu bara terbesar, pengekspor *liquified natural gas* (LNG) terbesar kedelapan, dan juga merupakan produsen *biofuel* terbesar di dunia (OECD, 2020). Industri migas dan batu bara di Indonesia masih didominasi oleh sekelompok kecil perusahaan, di antaranya adalah Chevron Pacific Indonesia, ExxonMobil, Pertamina EP, Pertamina Hulu, dan China National Offshore Oil Corporation (CNOOC) (Indonesia Investments, 2018).

Tabel 4.2 Produksi Minyak dan Gas Indonesia Hingga Q3-2018

Kontraktor	Produksi (bpd)	Target anggaran negara (bpd)
Chevron Pasific Indonesia	210.582	213.551
ExxonMobil Cepu Limited	207.936	205.000
Pertamina EP	73.618	85..869
Pertamina Hulu Mahakam	44.346	48.271
CNOOC	31.141	30.000
Total produksi nasional	773.923	800.000

Sumber: Indonesia Legal Team (2019)

E. Regulasi di Sektor Industri Energi yang Mendorong *Net-Zero Carbon*

Untuk mencapai target pengurangan emisi tersebut, Indonesia mengeluarkan serangkaian regulasi, di antaranya tiga peraturan yaitu No. 72/2014 tentang Kebijakan Energi, Permen No. 5899/K/20/MEM/2016 tentang Rencana Bisnis Penyediaan Tenaga Listrik, Perpres No. 22/2017 tentang Rencana Energi Nasional. PP No.72/2014 memberikan petunjuk bagaimana membina pengembangan dan transformasi sektor energi Indonesia dalam menghadapi peningkatan permintaan jasa energi serta petunjuk mengenai peran energi terbarukan yang semakin signifikan. Pemerintah juga menetapkan batasan-batasan dan target untuk memproduksi sekurang-kurangnya 23% dari total energi campuran merupakan energi terbarukan (tidak termasuk biomassa

Buku ini tidak diperjualbelikan.

nonkomersial) di tahun 2025 dan setidaknya 31% pada tahun 2050 (ADB, 2019). Kemudian, terdapat Permen No.5899/K/20/MEM/2016 yang menyediakan pedoman perihal kuota maksimal untuk setiap jenis pembangkit listrik hingga tahun 2025 yang juga sejalan dengan PP No. 72/2014. Selanjutnya adalah pengimplementasian Perpres No.22/2017 yang mengatur mengenai target nasional dan regional untuk setiap subsektor energi dan tindakan-tindakan spesifik yang dapat dilakukan pada sektor pengguna akhir, termasuk efisiensi energi serta kegiatan konservasi (ADB, 2019).

Regulasi migas dan batu bara yang diterapkan oleh pemerintah tersebut dapat mendorong perusahaan untuk mengimplementasikan *Corporate Social Responsibility (CSR)*-nya dalam proyek-proyek yang ramah lingkungan dan berkelanjutan seperti yang tengah dilakukan oleh Pertamina. Sejalan dengan apa yang telah ditetapkan pemerintah, Pertamina sebagai salah satu pemain kunci dalam sektor migas dan batu bara, telah menetapkan *roadmap* pengurangan gas rumah kaca pada tahun 2020. Di tahun 2017, Pertamina berhasil menyelenggarakan tujuh proyek mekanisme pembangunan bersih dan lima di antaranya berhasil mengurangi 2,06 juta ton CO_2 ekuivalen per tahun serta mengurangi total emisi gas rumah kaca sebanyak 2,58 juta ton CO_2e per tahun (Pertamina, 2017).

F. Rekomendasi Terkait Regulasi Pendorong Energi Bersih

Saat ini, apabila dihitung terdapat sebanyak 45 peraturan, termasuk peraturan pemerintah, peraturan menteri, dan peraturan presiden mengenai migas dan batu bara. Meskipun demikian, ketika membahas regulasi pengurangan emisi karbon di Indonesia, jumlahnya tidak sebanding dengan regulasi mengenai tata cara pengeksploitasian migas dan batu bara. Padahal, dengan adanya sedikit regulasi mengenai pengurangan emisi karbon, perusahaan dan pemain di sektor energi sudah ikut mengimplementasikan peraturan tersebut, contohnya seperti Pertamina yang juga melakukan proyek-proyek berkesinambungan dengan target dari peraturan yang ditetapkan oleh

Buku ini tidak diperjualbelikan.

pemerintah. Oleh karena itu, diperlukan lebih banyak lagi regulasi yang mendorong pengurangan emisi karbon untuk mencapai *net-zero carbon emission* seperti yang telah dilakukan oleh beberapa negara, termasuk Swedia, Inggris, Prancis, Denmark, Selandia Baru, dan Hongaria.

REFERENSI

ADB. (2019). *Carbon dioxide-Enhanced oil recovery in Indonesia*. https://www.adb.org/sites/default/files/publication/557161/co2-enhanced-oil-recovery-indonesia.pdf

Albeck-Ripka, L. (2017). How to reduce your carbon footprint. *The New York Times*. https://www.nytimes.com/guides/year-of-living-better/how-to-reduce-your-carbon-footprint

Bazilian, M., Gielen, D. (2020). 5 years after Paris: How countries' climate policies match up to their promises, and who's aiming for net zero emissions. *The Conversation*. https://theconversation.com/5-years-after-paris-how-countries-climate-policies-match-up-to-their-promises-and-whos-aiming-for-net-zero-emissions-151722

Badan Pusat Statistik (BPS). (2019). *Emisi gas rumah kaca menurut jenis sektor (ribu ton CO2e) 2001–2017*. https://www.bps.go.id/statictable/2019/09/24/2072/emisi-gas-rumah-kaca-menurut-jenis-sektor-ribu-ton-co2e-2001-2017.html

Bokhoven, A. (2018). *How big is Indonesia actually?*. https://www.thalassamanado.com/how-big-is-indonesia/

Climate Transparency. (2019). *Brown to green: The G20 transition to a low-carbon economy 2018 Indonesia*. https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2019/01/BROWN-TO-GREEN_2018_Indonesia_FINAL.pdf

EITI Indonesia. (2017a). *Peraturan dan kebijakan perundangan di sektor minerba*. http://eiti.ekon.go.id/peraturan-dan-kebijakan-perundangan-di-sektor-minerba/

EITI Indonesia. (2017b). *Regulations and policies oil and gas sector*. http://eiti.ekon.go.id/en/peraturan-kebijakan-perundangan-sektor-migas/

Indonesia Investments. (2018). *Hat are the biggest oil & gas companies in Indonesia?* https://www.indonesia-investments.com/news/todays-headlines/what-are-the-biggest-oil-gas-companies-in-indonesia/item9000

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Indonesia Legal Team. (2019). *Why invest and do business in Indonesia?* https://www.indonesia-investments.com/news/todays-headlines/what-are-the-biggest-oil-gas-companies-in-indonesia/item9000

Kementerian ESDM. (2019). *Penanganan emisi gas rumah kaca dan manajemen energi*. https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/penanganan-emisi-gas-rumah-kaca-dan-manajemen-energi

Kemlu RI. (2019). *Climate change*. https://kemlu.go.id/portal/en/read/96/halaman_list_lainnya/climate-change

Lean, G., & Kay, B. (2011). *Four nations in race to be first to go carbon neutral*. https://www.independent.co.uk/environment/climate-change/four-nations-in-race-to-be-first-to-go-carbon-neutral-802627.html

OECD. (2020). *Fossil fuel support country note: Indonesia*. www.oecd.org/fossil-fuels

Pertamina. (2017). *Climate Change*. https://pertamina.com/en/climate-change

Putri, A. S. (2020). Potensi sumber daya alam Indonesia. *Kompas*. https://www.kompas.com/skola/read/2020/05/28/110000269/potensi-sumber-daya-alam-indonesia?page=all

The Editors of Encyclopedia Britannica. (2019). *Paris Agreement international treaty [2015]*. https://www.britannica.com/topic/Paris-Agreement-2015

The World Bank. (2014). *Fossil fuel energy consumption (% of total)*. https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.COMM.FO.ZS?end=2014&locations=ID-MY-SG-TH-PH-KH-LA-VN-MM-TL-BN&start=1971&view=chart diakses pada 2 Januari 2021

The World Bank. (2019). *Population total, Indonesia*. https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=ID diakses pada 2 Januari 2021

UN Environment Programme. (2019). *UN Environment "walks the talk" on carbon neutrality*. https://www.unenvironment.org/news-and-stories/story/un-environment-walks-talk-carbon-neutrality

Wijaya, A., & Chrysolite, H. (2017). *World Resources Institute*. https://www.wri.org/publication/how-can-indonesia-achieve-its-climate-goal?downloaded=true

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB V

Peran *Green Mining* di Indonesia dalam Rangka Mencapai *Net Zero Emission*

Dody Irawan & Ilham Putra Adiyaksa

A. Jenis tambang dan potensi

Pertambangan menurut Undang-Undang Nomor 4 tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batu bara adalah sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka penelitian, pengelolaan, dan pengusahaan mineral atau batu bara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan pemurnian, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pascatambang (UU No. 4, 2009). Secara umum, kegiatan pertambangan dibagi menjadi dua jenis, yaitu

1. *Open pit mining* (tambang terbuka)

Metode pertambangan ini dilakukan dengan cara menambang langsung di area terbuka. Metode ini dipakai karena mineral yang akan diambil jaraknya tidak jauh dari permukaan bumi. Metode ini

Buku ini tidak diperjualbelikan.

banyak digunakan di Indonesia karena kebanyakan posisi mineral dan batu bara di Indonesia masih tidak jauh dari permukaan. Tambang terbuka memiliki beberapa keuntungan, yaitu lebih aman, cenderung lebih sederhana, dan mudah dalam melakukan pengawasan. Dengan teknologi yang ada di Indonesia sekarang, tambang terbuka adalah metode tepat yang bisa digunakan untuk melakukan aktivitas pertambangan.

2. *Underground mining* (tambang bawah tanah)

Metode ini digunakan dalam rangka mengambil mineral dan batu bara yang jauh dari permukaan bumi. Metode ini sudah banyak dilakukan di negara-negara, seperti Amerika, Rusia, Tiongkok, dll. Sampai sekarang, metode tambang bawah tanah masih dipakai dan terus dikembangkan keamanannya karena jika posisi mineral dan batu bara jauh dari permukaan bumi, penting sekali untuk mempertahankan bukaan lubang seaman mungkin agar tidak terjadi keruntuhan atau ambruk bagian atas galian. Salah satu perusahaan yang mengadopsi metode tambang bawah tanah saat ini adalah Pertambangan Grasberg di PT Freeport Indonesia. Perusahaan tambang emas terbesar di Indonesia ini awalnya memakai metode *open pit mining* atau *surface mining* dalam aktivitasnya yang sekarang melakukan transisi ke metode *underground mining*.

Di Indonesia, pertambangan menjadi salah satu sektor yang sangat mendukung peningkatan ekonomi, baik di tingkat regional maupun nasional. Secara umum, rata-rata produksi tambang batu bara di Indonesia selama periode tahun 2005 hingga 2015 tercatat sebesar 302.524.572 ton per tahun dengan rata-rata pertumbuhan 17,55% atau sekitar 44.151.086 ton per tahun. Data dari Asosiasi Pertambangan Indonesia menunjukkan bahwa sepanjang periode 2004 hingga 2015 lalu, kontribusi sektor pertambangaan terhadap PDB nasional mengalami fluktuasi, tetapi tetap mengalami peningkatan. PDB adalah singkatan dari produk domestik bruto yang diartikan sebagai nilai pasar suatu barang atau jasa yang diproduksi oleh suatu negara pada periode tertentu. Pada tahun 2004, kontribusi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

pertambangan terhadap PDB sebesar 2,83% dan terus terjadi fluktuasi hingga tahun 2015 menjadi 5,28% dari total PDB Indonesia. Secara keseluruhan, rata-rata kontribusi sektor pertambangan terhadap PDB di Indonesia selama tahun 2004 sampai 2015 adalah sebesar 4,59% per tahun atau sebesar 316,5 triliun rupiah per tahun (Bappenas, 2016).

Potensi yang sangat baik tersebut membuat pertambangan menjadi salah satu sektor andalan untuk meningkatkan perekonomian nasional. Namun, apakah sektor ini benar-benar menguntungkan? Bagaimana dampak lingkungan dan sosial yang disebabkan kegiatan pertambangan selama ini?

B. Dampak Lingkungan dan Sosial Ekonomi dari Aktivitas Pertambangan Batu Bara

Selain memang proses produksi dari pertambangan batu bara memberikan dampak yang positif terhadap pemenuhan energi di Indonesia dan perekonomian regional serta nasional, di sisi lain ada dampak yang juga harus diperhatikan sebagai bagian dari konsekuensi adanya kegiatan pertambangan. Menurut penelitian dari Goswami (2015), proses pertambangan batu bara memberikan dampak tidak hanya pada satu aspek, melainkan berlapis. Seperti dampak pada pertumbuhan ekonomi dari sebuah wilayah, perubahan lahan yang mengarah pada permasalahan-permasalahan ekologi, dan juga aspek sosial ekonomi. Sejalan dengan penelitian tersebut, Fitriyanti (2016) juga menjelaskan bahwa adanya dampak yang ditimbulkan pada proses penambangan batu bara yang dapat ditinjau dari aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi. Pada aktivitasnya, pertambangan sering dikaitkan dengan pencemaran lingkungan, meliputi air, tanah, dan udara. Beberapa kasus ini sangat merugikan lingkungan dan sangat berbahaya bagi kehidupan warga sekitar area pertambangan.

Lingkungan menjadi aspek paling kentara yang terkena dampak negatif sebagai konsekuensi dari kegiatan pertambangan batu bara. Dampak lingkungan yang dirasakan tidak hanya didapatkan ketika proses produksi, melainkan juga pada kegiatan praproduksi dan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

pascaproduksi. Kegiatan praproduksi seperti pembukaan lahan dan persiapan proses pertambangan yang tidak direncanakan dengan baik tentu akan berdampak negatif, baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap lingkungan; sedangkan pada saat proses produksi, gangguan seperti *noise*, adanya pencemaran udara, hingga limbah yang dihasilkan menjadi bagian dari dampak yang ditimbulkan. Timbulnya lubang-lubang besar pascaproduksi juga merupakan indikasi utama adanya dampak langsung dari proses pertambangan. Bahkan lebih jauh, Fitriyanti (2016) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa dampak lingkungan tidak hanya dirasakan oleh manusia, tetapi juga makhluk hidup lainnya. Terjadinya penurunan keanekaragaman hayati di sekitar area pertambangan disebabkan oleh terjadinya penurunan kualitas udara, tanah, dan air, serta penurunan biodiversitas yang tentunya akan berdampak pada siklus rantai makanan hingga menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem. Berikut adalah beberapa dampak yang ditimbulkan oleh aktivitas pertambangan batu bara:

a. Menurunnya pH air di sekitar area pertambangan batu bara

   Sudah bukan rahasia lagi kalau aktivitas pertambangan akan memberikan dampak terhadap air di sekitar yaitu menurunnya pH yang membuat air menjadi asam dan mengganggu ekosistem biota yang ada di dalamnya. Contohnya di hulu Sungai Lati (Kalimantan Timur) yang pada awalnya memiliki pH normal, tetapi setelah beberapa waktu pH air sungai tersebut berfluktuasi dari 6,5 menjadi 4,6 dan dengan kata lain air sungai berubah menjadi asam (Marganingrum & Noviardi, 2009).

b. Dampak dari debu aktivitas pertambangan batu bara dan debu batu bara

   Debu dari aktivitas pertambangan batu bara sangat berbahaya bagi kesehatan pernapasan, baik itu debu yang dihasilkan dari alat berat yang melintas, maupun debu dari batu bara. Polusi udara dari debu batu bara dapat menyebabkan pneumokoniosis atau *black lung*, penyakit ini timbul karena terhirupnya debu batu bara dalam jangka waktu tertentu dan menumpuk di paru-paru.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Penderita penyakit ini kebanyakan adalah para pekerja batu bara. Akan tetapi, masyarakat juga bisa menderita penyakit ini dari debu batu bara yang terbawa oleh angin yang masuk ke kawasan pemukiman penduduk. Penyakit ini ditandai dengan sesak nafas dan batuk berdahak berwarna hitam (Rinawati, 2015). Selain polutan udara, debu aktivitas batu bara ditambah dengan curah hujan di Indonesia yang tinggi menjadikan perubahan struktur tanah dan tanah tererosi (Marganingrum & Noviardi, 2009).

c. Lubang bekas aktivitas pertambangan batu bara

Ini adalah kasus yang berdampak signifikan kepada lingkungan karena lubang bekas tambang yang menjadi kubangan air asam merusak kesuburan tanah yang mengakibatkan tumbuhan yang berada di sekitar kubangan air asam ini tidak dapat hidup dengan baik.

d. Dampak sosial ekonomi

Selain lingkungan, aspek sosial menjadi salah satu aspek yang cukup terdampak dengan adanya kegiatan pertambangan. Bagaimana tidak, perubahan-perubahan yang terjadi di lingkungan pertambangan tentu akan berdampak terhadap kehidupan masyarakat sekitar. Tak sedikit, terjadi konflik dalam masyarakat terhadap kegiatan pertambangan. Kerusakan jalan, limbah, banyaknya pekerja pendatang, sedikitnya pekerja dari warga lokal menjadi alasan-alasan yang menyebabkan terjadinya konflik di area pertambangan tersebut (Irwandi & Chotim, 2017). Lebih dari itu, kesehatan masyarakat di sekitar area akan mengalami penurunan karena banyaknya polusi serta adanya limbah dan *waste* yang tidak terolah dengan baik. *Waste* dalam hal ini berupa bagian yang tertinggal atau bagian dari hasil pemisahan batu bara setelah proses pertambangan. Kegiatan pertambangan yang juga melibatkan banyak pekerja pendatang memaksa warga sekitar untuk mampu beradaptasi dengan kondisi tersebut. Lahan yang berubah juga memaksa warga untuk mampu mencari jalan lain dalam usaha mendapatkan uang (Fitriyanti, 2016).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dampak negatif pertambangan batu bara menjadi hal yang pasti. Mengetahui hal tersebut, pemerintah melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) sudah memberikan arahan khusus terkait hal ini yang tercantum dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral RI Nomor 26 Tahun 2018 tentang Pelaksanaan Pertambangan yang Baik dan Pengawasan Pertambangan Mineral dan Batu bara. Di dalam peraturan tersebut, terdapat dua bagian yang secara spesifik mengatur tentang lingkungan dan dampak lain yang ditimbulkan dari aktivitas pertambangan. Pada bagian keempat tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup Pertambangan, Reklamasi, dan Pascatambang, serta Pascaoperasi dijelaskan bahwa pelaku pertambangan batu bara harus melaksanakan pengelolaan, pemantauan, penanggulangan, hingga pemulihan lingkungan hidup di daerah pertambangan. Kegiatan tersebut tidak hanya dilakukan saat produksi, melainkan juga praproduksi dan pascaproduksi. Arahan pemerintah melalui Kementerian ESDM ini menjadi penting guna meminimalkan kerusakan-kerusakan lingkungan hidup di sekitar area pertambangan.

Sementara itu, di bagian ketujuh tentang Pengembangan dan Pemberdayaan Masyarakat Setempat serta Tanggung Jawab Sosial dan Lingkungan dijelaskan bahwa pelaku usaha pertambangan wajib melakukan tanggung jawab sosial, termasuk juga pelaksanaan program sosial dan lingkungan di area pertambangan. Ada beberapa hal yang bisa dilakukan untuk memanfaatkan area bekas pertambangan agar tetap produktif dan bermanfaat bagi lingkungan (Permen ESDM No. 26, 2018).

1) Sebagai area wisata berbasis *geopark*. Area pascatambang batu bara dapat dimanfaatkan sebagai danau buatan. Pembangunan area pascatambang dapat dilakukan dengan memperhatikan aspek lingkungan yang kemudian dapat dijadikan sebagai objek wisata. Hal ini dapat dilakukan sebagai salah satu wujud nyata pemulihan lingkungan pascatambang,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

tetapi juga tetap mempertahankan kegiatan perekonomian warga sekitar setelah selesainya kegiatan tambang.

2) Sebagai area untuk relokasi permukiman penduduk. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Wuryandari dkk., (2005), air area pascatambang batu bara tidak berasa masam dan masih layak konsumsi sehingga secara umum, area pascatambang batu bara masih layak digunakan untuk permukian warga.

3) Sebagai area untuk menampung air (waduk) yang dapat dimanfaatkan untuk pengairan lahan pertanian.

4) Sebagai area penghijauan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan menanam kembali tanaman sengon yang memiliki nilai ekonomis yang baik. Selain itu, Dariah dkk., (2010) menyatakan bahwa area pascatambang juga dapat ditanami tanaman-tanaman perkebunan seperti cokelat dan juga tanaman musiman seperti padi. Penanaman ini tentunya akan disesuaikan dengan kondisi sekitar tepat setelah kegiatan pertambangan selesai.

Kegiatan-kegiatan tersebut penting untuk dilakukan supaya tetap mempertahankan perekonomian masyarakat di area pascatambang dan juga untuk melestarikan alam sekitar. Kesadaran dari pihak penambang diperlukan untuk melaksanakan kewajiban tersebut sebagai bagian dari pelaksanaan peraturan menteri terkait kegiatan pascapertambangan. Namun, masyarakat sekitar juga harus berperan aktif terhadap pelaksanaan kegiatan tersebut.

C. Metode Green Mining dan *Net Zero Emission*

Melihat dampak yang ditimbulkan oleh kegiatan pertambangan konvensional, perlu langkah-langkah terbarukan untuk melaksanakan kegiatan pertambangan yang lebih ramah lingkungan. Dewasa ini, dikenal sebuah istilah *green mining*. Sesuai namanya, konsep *green mining* menawarkan sebuah solusi atas kegiatan pertambangan agar lebih hijau. *Green mining* adalah sebuah konsep untuk melaksanakan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

kegiatan yang lebih ramah lingkungan. Lingkungan bukan hanya terdiri dari unsur-unsur hayati saja, melainkan meliputi masyarakat dan kehidupan sosialnya sehingga jika ada kegiatan penambangan harus memperhatikan aspek lingkungan dan dampak sosial terhadap masyarakat. Hal ini merupakan wujud konkret pelaksanaan peraturan pemerintah yang telah dijelaskan sebelumnya. Harus ada wujud nyata dari pelaksana tambang untuk mewujudkan lingkungan pascatambang yang lebih hijau dan lestari, baik untuk alam maupun sosial.

Selama ini, kegiatan pertambangan tidak menyertakan aspek berkelanjutan di dalamnya sehingga banyak sekali kasus-kasus pascatambang yang tidak melaksanakan kewajibannya yaitu mengembalikan area sekitar ke lingkungan yang lebih baik. Para pelaksana tambang perlu untuk memikirkan aspek berkelanjutan sebagai bagian dari implementasi konsep *green mining* dalam perencanaan kegiatan pertambangan di Indonesia. Hal ini dilakukan untuk meminimalkan pihak-pihak tertentu berbuat curang dengan tidak melaksanakan kegiatan pratambang hingga pascatambang yang baik. Dengan menerapkan konsep yang tepat dari awal hingga akhir kegiatan pertambangan, *net zero emission* yang digadang-gadang akan bisa diwujudkan menjadi nyata.

Net zero emission merupakan sebuah upaya yang dilakukan guna mencapai titik *carbon netral* di atmosfer bumi karena emisi tersebut merupakan penyebab terjadinya pemanasan bumi sekarang ini atau sering disebut sebagai *global warming.* Fluktuasi suhu sekarang yang diakibatkan oleh gas rumah kaca ini memaksa para peneliti untuk membuat sebuah tujuan berupa *net zero emission* untuk mencapai *carbon neutral* dalam rangka mengurangi atau bahkan menghilangkan pemanasan global dan perubahan iklim. Oleh karena itu, dilakukan berbagai upaya untuk mengurangi emisi karbon yang dihasilkan bahan bakar fosil dengan melakukan transisi ke energi terbarukan dan membuat proses dari bahan bakar fosil menjadi lebih ramah lingkungan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

D. Pengoptimalan Metode Lingkungan Berkelanjutan Saat dan Pascatambang

Kegiatan pertambangan harus direncanakan sebaik mungkin untuk meminimalkan segala kemungkinan buruk dan mengoptimalkan segala kemungkinan baiknya bagi lingkungan sekitar, manusia, dan kehidupan sosialnya. Pelaksanaan yang bersifat berkelanjutan adalah pelaksanaan yang terbaik karena di dalamnya akan mencakup prinsip-prinsip keberlanjutan, seperti mempertimbangkan manusia, bumi, kemakmuran, perdamaian, dan kerjasama (poin-poin dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs)). Hal tersebut kemudian dapat diwujudkan dengan menerapkan *good mining practice* yang meliputi beberapa poin penting di dalamnya, seperti keselamatan dan kesehatan kerja, operasi pertambangan, pengelolaan dan pemantauan lingkungan pertambangan, konservasi sumber daya mineral dan batu bara, serta pengelolaan sisa tambang. Kelima poin tersebut merupakan poin-poin fundamental yang juga merupakan bagian dari SDGs untuk diperhatikan sebelum melakukan pertambangan. Apabila poin-poin tersebut kemudian diperhatikan dan dilaksanakan dengan baik, kegiatan pertambangan juga akan menjadi salah satu sektor yang mendukung terwujudnya pembangunan berkelanjutan atau yang disebut sebagai SDGs.

Mengapa penting dilakukan pada sektor pertambangan? Melihat poin-poin yang disebutkan sebelumnya, pertambangan berkelanjutan akan membawa dampak sangat positif terhadap banyak aspek selain perekonomian, terutama lingkungan dan sosial.

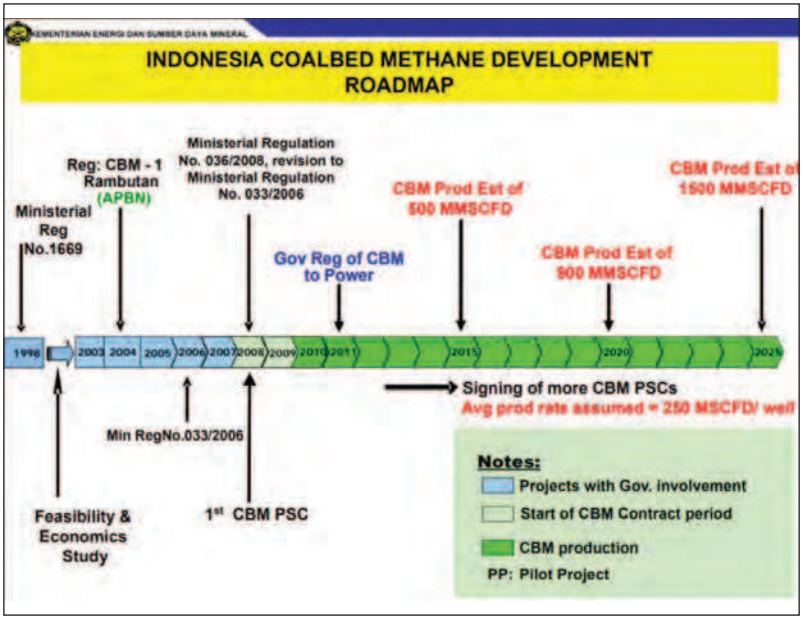
Sebagai contoh, misalnya pada poin keselamatan dan kesehatan kerja. Apabila pihak produsen memberikan sebuah komitmen yang kuat terhadap keselamatan dan kesehatan kerja di lingkungan pertambangan, hal tersebut akan mengarah pada peningkatan produksi dan kualitas SDM yang baik. Selain itu, misalnya pada poin pengelolaan dan pemantauan lingkungan. Sebagai bagian dari konsekuensi pelaksanaan pertambangan, lingkungan adalah aspek yang paling terdampak. Apabila pihak produsen memberikan komitmen yang kuat terhadap penjagaan lingkungan di saat dan pascaproduksi, hal tersebut

Buku ini tidak diperjualbelikan.

akan memberikan dampak yang sangat baik. Efek-efek negatif yang ditimbulkan selama proses pertambangan dapat dikurangi seminimal mungkin hingga mencapai titik *zero emision*.

E. Pemanfaatan *Coalbed Methane* CBM Sebagai Energi Alternatif

CBM adalah bentuk dari gas natural alam yang muncul di permukaan pertambangan batu bara. Mengenai CBM ini, di Indonesia masih belum mencapai potensi terbaik mereka karena perusahaan-perusahaan pertambangan kebanyakan masih pesimis akan potensi CBM ini. Padahal, kalau kita bisa lihat dalam jangka panjang, potensi energi yang dihasilkan CBM ini akan mampu menggantikan peran *liquified petroleum gas* (LPG) sekarang dan di beberapa sektor lain sesuai pengembangannya.



Sumber: Fadhilah (2017)

Gambar 5.1 *Road Map* CBM di Indonesia

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Selama proses pembentukan batu bara akan dihasilkan bermacam-macam gas, terutama gas metana. Beberapa gas akan melepaskan diri ke luar ke permukaan melalui media rekahan pada batuan, namun ada beberapa gas yang terperangkap ke dalam batu bara. Rekahan-rekahan pada batu bara yang terbentuk secara alami biasanya disebut *cleats*. Rekahan batu bara ini biasanya berhubungan dengan pembentukan sedimen di atasnya atau bisa juga berhubungan dengan kekar atau sesar (Nuttall dkk., 1999).

Gas metana yang berbahaya bagi kesehatan dan keselamatan pekerja tambang ini, kalau kita maksimalkan potensinya akan sangat membantu dalam pemenuhan energi kita di masa depan. Selain itu, nantinya juga mampu menggantikan peran dari LPG dengan dikonversikan menjadi *dimethyl ether* (DME).

F. Gasifikasi Batu Bara dalam Rangka Pengurangan Emisi Karbon

Gasifikasi batu bara adalah proses konversi batu bara menjadi produk gas yang dapat digunakan untuk bahan bakar maupun bahan baku industri kimia. Unit gasifikasi terdiri dari reaktor, pendingin gas (*scrabber*), penangkap tar (*tar electrostatic precipirator*), pembersih gas (*washing tower*), pemisah uap (*fog drop*), blower, dan kolam penampungan tar (*tar pond*).

Sumber: BENSINKITA (2020)

Gambar 5.2 Proses Gasifikasi Batu Bara

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dengan penerapan teknologi ini, selain dapat mengurangi ketergantungan terhadap BBM, secara tidak langsung juga akan mengurangi beban subsidi negara yang dikeluarkan untuk BBM akibat tingginya harga minyak dunia, meningkatkan nilai batu bara, serta menambah devisa dan terciptanya lapangan kerja. Seperti yang kita ketahui, cadangan batu bara Indonesia sangat besar, diperkirakan mencapai 91 miliar ton, dengan tingkat produksi 200–300 juta ton per tahun. Kalau dikalkulasikan, cadangan batu bara Indonesia akan dapat mencapai 100 miliar ton lebih dalam beberapa tahun ke depan (Fadhilah, 2017).

Produk dari gasifikasi batu bara ini berupa gas yang dinamakan DME yang merupakan senyawa eter paling sederhana yang mengandung oksigen berwujud gas sehingga proses pembakarannya jauh lebih cepat jika dibandingkan LPG yang kita gunakan saat ini. Program substitusi LPG ke DME dari batu bara ini mendapat respons positif dari pemerintah dan investor swasta dalam rangka pemenuhan kebutuhan energi di masa depan. Salah satu perusahaan batu bara yang melakukan hilirisasi batu bara ini yaitu PT Bukit Asam (PTBA) yang bekerja sama dengan Pertamina. Terobosan yang dilakukan PTBA mendapat respons sangat positif dari pemerintah karena di samping pesimisme akan program hilirisasi yang sangat memakan biaya, PTBA membuka potensi pengembangan gasifikasi batu bara dalam bentuk DME ini untuk pemenuhan energi dan juga mengurangi pembakaran batu bara yang menghasilkan senyawa karbon ke atmosfer.

G. Rekomendasi dalam Mencapai *Zero Emission*

Seperti yang diketahui bahwa batu bara menjadi salah satu sektor yang memberikan dampak positif terhadap perekonomian nasional, maka perlu untuk memperhatikan aspek lain agar kegiatan pertambangan tetap memberikan kontribusi. Aspek lingkungan dan sosial menjadi aspek yang cukup terdampak dari adanya kegiatan pertambangan batu bara ini. Pemerintah telah memberikan arahan melalui peraturannya sehingga pihak-pihak penyelenggara pertambangan harus patuh

Buku ini tidak diperjualbelikan.

terhadap peraturan tersebut agar berdampak baik. Perencaanaan, pelaksanaan, hingga pascatambang harus dipikirkan sebaik mungkin agar kemudian bersifat berkelanjutan. Banyak metode atau konsep yang dapat digunakan agar pertambangan berkelanjutan dapat dilaksanakan, tinggal bagaimana metode tersebut disesuaikan dengan kondisi nyata di lapangan. Dengan demikian, sektor ini akan tetap bisa memberikan dampak positif terhadap perekonomian nasional dengan dampak lingkungan serta sosial yang diperhatikan. Dengan teknologi yang sudah ada, kita mampu membuat inovasi dalam sektor ini. Misalkan, lubang bekas tambang yang tertinggal bisa dimanfaatkan bukan hanya sebagai tempat rekreasi lagi, tetapi juga bisa diinovasikan dengan melakukan instalasi panel surya yang mampu memberikan energi listrik kepada masyarakat sekitar atau juga bisa digunakan untuk keperluan lain perusahaan seperti memberikan daya listrik kepada kantor dan tempat tinggal karyawan di *site* pertambangan. Kombinasi dan transisi kecil namun signifikan ini mampu memberikan dampak yang positif ke semua pihak. Selain lahan bisa terkelola dengan baik, lahan tersebut juga mampu memberikan keuntungan yang bisa kita manfaatkan hasilnya. Contohnya, dari salah satu perusahaan tambang di Indonesia ini yaitu PTBA yang sudah mulai memanfaatkan Energi Baru Terbarukan (EBT) sebagai upaya mengurangi kebutuhan primer batu bara dengan melakukan instalasi panel surya di lahan bekas tambang dan juga di jalan tol dengan menggandeng salah satu perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yaitu PT Jasa Marga (persero) (CNN Indonesia, 2020). Pilihan untuk melakukan pemasangan panel surya adalah hal yang tepat karena panel surya ini lebih fleksibel. Walaupun lahan bekas tambang biasanya digenangi air, instalasinya tetap bisa dilakukan dengan instalasi di atas permukaan air. Dengan adanya instalasi panel surya ini, tentunya akan mengurangi risiko anak-anak masyarakat sekitar bermain di kubangan air bekas tambang dan menghindari korban jiwa. Selain dari panel surya, instalasi EBT lain juga bisa dikombinasikan tergantung dari kontur tanah, letak geografis, dan potensi EBT tersebut.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

REFERENSI

Bappenas. (2016). *Laporan akhir: Kajian ketercapaian target DMO batubara sebesar 60% produksi nasional pada tahun 2019*. 1–115. https://www.bappenas.go.id/files/5415/0898/5954/Laporan_Akhir_Kajian_DMO_Batubara_Final.pdf

BENSINKITA. (2020). *Program gasifikasi batubara jalan terus, PT Pertamina garap jaringan ke 52 pembangkit listik PLN*. https://bensinkita.com/program-gasifikasi-batubara-jalan-terus-pt-pertamina-garap-jaringan-ke-52-pembangkit-listik-pln/

CNN Indonesia. (2020, 21 Oktober). Bukit asam bangun panel surya di lahan bekas tambang. https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20201021154707-85-561111/bukit-asam-bangun-panel-surya-di-lahan-bekas-tambang.

Dariah, A., Abdurachman, A., & Subardja, D. (2010). Reklamasi lahan eks-penambangan untuk perluasan areal pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, *4*(1), 1–12.

Fadhilah, A. (2017). *Mengenal 3 potensi energi baru dan penerapannya di Indonesia*. https://medium.com/@alfinfadhilah/mengenal-3-potensi-energi-baru-dan-penerapannya-di-indonesia-91b5b98ab89b

Fitriyanti, R. (2016). Pertambangan batubara : Dampak lingkungan, sosial dan ekonomi. *Jurnal Redoks PS. Teknik Kimia Universitas PGRI Palembang*, *1*(1), 34–40.

Goswami, S. (2015). Impact of coal mining on environment. *European Researcher*, *92*(3), 185–196. https://doi.org/10.13187/er.2015.92.185

Irwandi, & Chotim, E. R. (2017). Analisis konflik antara masyarakat, pemerintah dan swasta. *JISPO Jurnal Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, 7*(2), 24–42. https://journal.uinsgd.ac.id/index.php/jispo/article/view/2414/1600

Marganingrum, D., & Noviardi, R. (2009). Pencemaran air dan tanah di kawasan pertambangan batubara di PT Berau Coal, Kalimantan Timur. *Jurnal RISET Geologi dan Pertambangan*, *19*(2), 11. https://doi.org/10.14203/risetgeotam2010.v20.30

Nuttall, B. C., Chesnut, D. R., & Drahovzal, J. A. (1999). *Western Kentucky coalbed methane consortium*. Kentucky Geological Survey, University of Kentucky. https://www.uky.edu/KGS/emsweb/pdf/kycbm.pdf

Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 26 Tahun 2018 tentang Pelaksanaan Kaidah Pertambangan yang Baik dan Pengawasan Pertambangan Mineral dan Batubara. (2018). https://jdih.esdm.go.id/

Buku ini tidak diperjualbelikan.

peraturan/Peraturan%20Menteri%20ESDM%20Nomor%2026%20Tahun%202018.pdf

Rinawati, P. (2015). Coal worker's pneumoconiosis. *Medical Journal of Lampung University*, *4*(1), 49–56. https://juke.kedokteran.unila.ac.id/index.php/majority/article/view/501/502

Undang-Undang Republik Indonesia No. 4 tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara. (2009). https://jdih.kemenkeu.go.id/fullText/2009/4TAHUN2009UU.htm

Wuryandari, R., Hendrayana, H., & Karnawati, D. (2005). Feasibility of former coal-mined land for resettlement a case study at PT Kitadin Areo Kutai Kertanegara Regeflc!, East Kalimantan, Indonesia. *Jurnal Manusia dan Lingkungan, 12*(1), 20–27. https://journal.ugm.ac.id/JML/article/view/18631/11924

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB VI
Ekosistem Energi Baru Terbarukan Model Solutif Indonesia Bersinar

Naufaldy Obianka Putra

A. Peran Pengembangan Energi Terbarukan

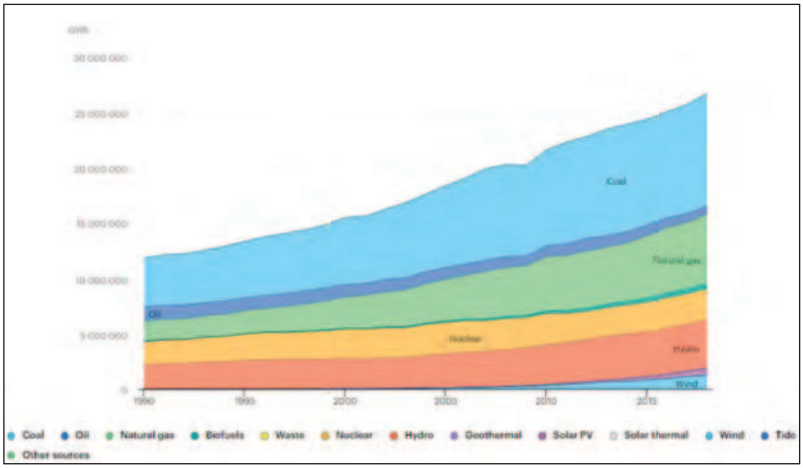
Hukum konservasi energi yang dicetuskan oleh Émile du Châtelet menyatakan bahwa energi tidak dapat dibuat maupun dihancurkan, namun dapat diubah menjadi bentuk yang lain. Setiap hari, kita menggunakan energi dengan atau tanpa disadari, seperti energi mekanik dari mobil atau motor, energi cahaya dari lampu, energi listrik yang digunakan untuk mengisi daya baterai, dll. Energi tersebut tidak dibuat, namun diubah dari energi lain, seperti listrik, yang didapatkan dari pembakaran energi fosil atau konversi dari energi terbarukan. Penggunaan energi di Indonesia masih didominasi oleh batu bara dan migas dengan persentase mencapai 90%. Dengan kata lain, ketergantungan Indonesia terhadap energi fosil masih tinggi. Fakta bahwa energi fosil tidak dapat diperbarui membuat generasi listrik yang berasal dari energi fosil tidak berkelanjutan. Perkembangan sistem eksploitasi energi dari energi terbarukan yang sudah berkembang dan semakin ekonomis membuat opsi yang menarik untuk diimplementasikan. Peran pemerintah di sini sangat penting untuk menyediakan energi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

yang berkelanjutan dan juga ramah lingkungan. Pada bab ini, akan dibahas mengenai pembuatan ekosistem yang mendukung untuk pengembangan energi terbarukan.

B. Energi Terbarukan dan Pemanfaatannya di Dunia dan Indonesia

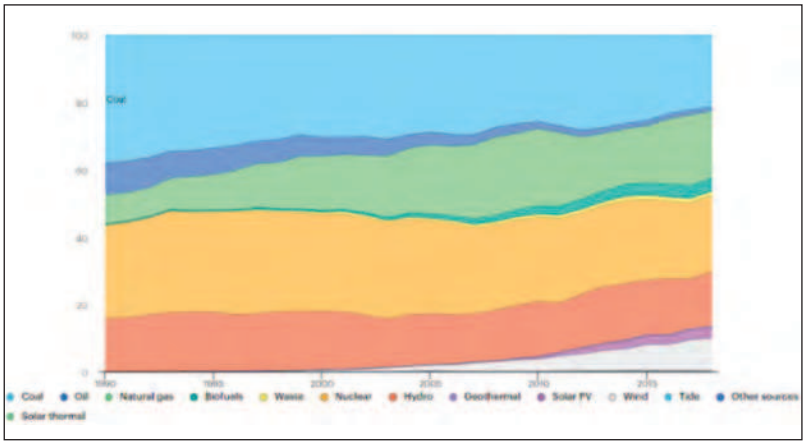
Dunia telah sadar akan pentingnya pengembangan berkelanjutan yang memperhatikan aspek lingkungan. Kenaikan temperatur bumi, perubahan iklim, ancaman rusaknya ekosistem alam merupakan landasan penduduk dunia untuk berubah menjadi lebih baik. *L'accord de Paris* 2015 atau perjanjian Paris merupakan bukti nyata kalau manusia mampu untuk bekerja bersama-sama membuat bumi yang lebih baik untuk generasi mendatang. Dihadiri oleh 189 negara dan ditandatangani oleh 195 negara, perjanjian Paris bertujuan untuk membatasi peningkatan suhu global menjadi 1,5°C dengan cara mengurangi emisi gas rumah kaca. Setelah perjanjian Paris berlaku secara efektif, banyak negara mulai berlomba untuk memenuhi kebutuhan listriknya dengan energi terbarukan.



Sumber: IEA (2020)

Gambar 6.1 Sumber Produksi Listrik Dunia dari 1990–2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.



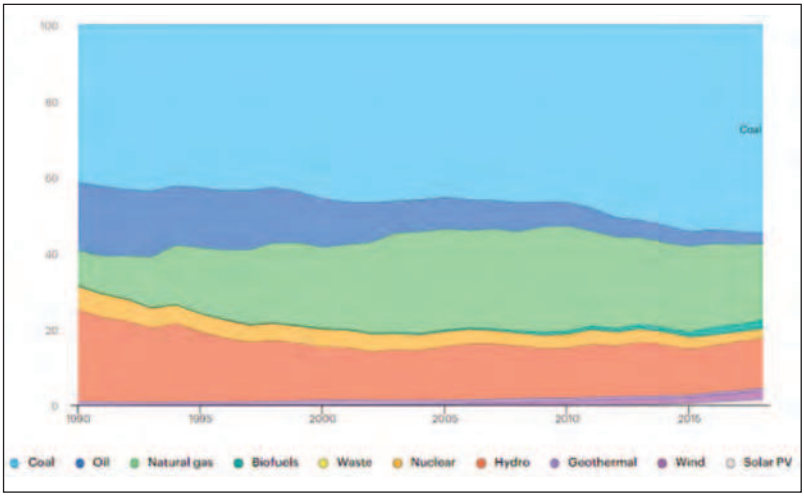
Sumber: IEA (2020)

Gambar 6.2 Persentase Generasi Listrik di Eropa

Konsumsi energi listrik di dunia terus meningkat setiap tahunnya. Sampai tahun 2018, dunia mengonsumsi listrik lebih dari 25 juta GWh per tahun yang masih didominasi oleh batu bara dan gas bumi. Perkembangan energi angin cukup signifikan setelah tahun 2010 mulai terlihat kontribusinya. Berdasarkan BP Energy Outlook 2020, Eropa masih memimpin produksi listrik dari sumber terbarukan diikuti oleh Tiongkok dan Amerika Serikat dengan didominasi energi air, angin, dan matahari. Pembangunan bendungan skala besar di Tiongkok memberikan tambahan bauran energi terbarukan yang baik bagi negara tirai bambu tersebut. Di Eropa, angin dan matahari menjadi favorit sumber energi terbarukan. Matangnya teknologi, banyaknya sumber angin, dan dukungan politik membuat energi terbarukan lebih banyak digunakan dibanding energi fosil seperti yang terlihat pada Gambar 6.2 dan 6.3.

Di Prancis, energi fosil digunakan untuk pembangkit listrik hanya ketika permintaan melonjak tinggi. Nuklir menjadi sumber listrik utama sehingga banyak penelitian mengenai nuklir *fusion* dilakukan di negara ini. Tercatat terdapat total 62,4 GW kapasitas terinstal dengan pembangkit terbesar 5,2 GW. Di lain sisi, penurunan keper-

Buku ini tidak diperjualbelikan.



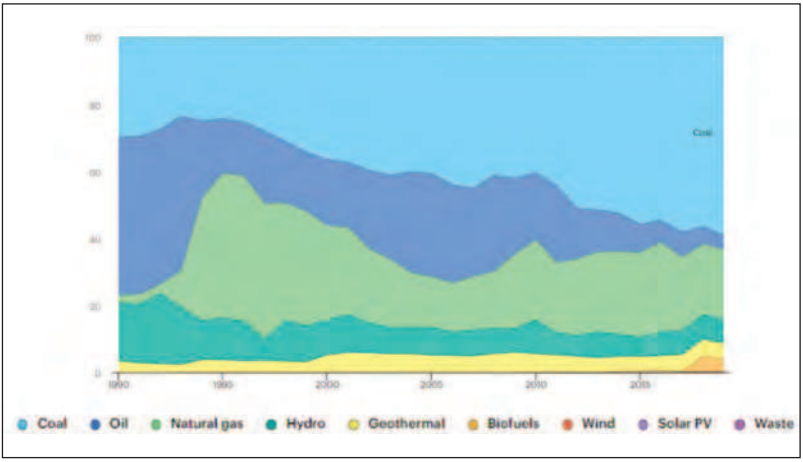
Sumber: IEA (2020)

Gambar 6.3 Persentase Generasi Listrik di Asia kecuali Tiongkok

cayaan masyarakat kepada nuklir di Jerman setelah perang dingin membuat negara ini memusatkan penelitian dan investasi di energi lain, biomassa, dan angin. Memiliki wilayah Laut Utara dan Laut Baltik, Jerman mempunyai potensi turbin angin *offshore*. Dukungan komisi Uni Eropa terhadap pengembangan energi terbarukan dan isu perubahan iklim mempertegas langkah Uni Eropa dalam memperkuat transisi energi dan membuat ekonomi berbasis lingkungan.

Di Asia sendiri, peningkatan permintaan energi yang cepat dan tinggi membuat banyak negara Asia harus dapat dengan cepat memenuhi permintaan tersebut. Salah satu teknologi yang sudah matang dan ekonomis dari sudut pandang investasi adalah batu bara. Itulah yang menyebabkan penggunaan batu bara tinggi sebagai generasi listrik tinggi di Asia.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



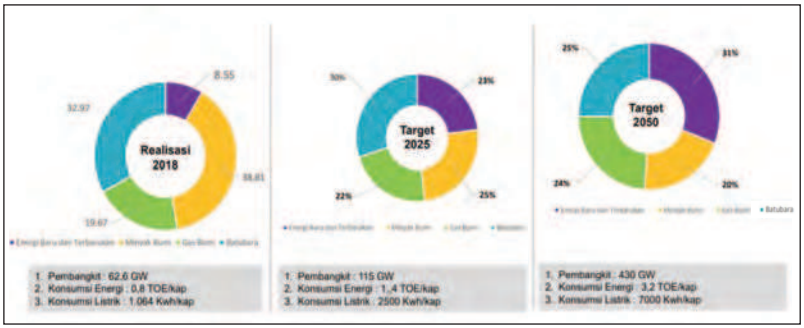
Sumber: IEA (2020)

Gambar 6.4 Persentase Generasi Listrik Indonesia

Indonesia sebagai negara dengan populasi keempat terbanyak di dunia masih memulai langkah pertama dalam pengembangan energi terbarukan. Langkah yang ditempuh pemerintah dalam pengembangan energi terbarukan masih tergolong lamban di skala Asia Tenggara. Malaysia sebagai tetangga Indonesia sudah membuat beberapa situs pembangkit tenaga surya dan memproduksikan listrik dengan nilai *levelized cost of energy* (LCOE) yang sangat rendah, hanya 0,051 USD/kWh (Bellini, 2020). Vietnam juga sudah menempuh langkah yang sama dengan membangun lebih dari Sembilan gigawatt (GW) solar panel di atas atap selama tahun 2020 (Leader Associates, 2021).

Di Indonesia, beberapa bendungan dan situs pembangkit listrik panas bumi sudah berkontribusi dalam bauran energi terbarukan nasional. Namun, perkembangan tersebut masih sangat rendah dan stagnan, bahkan Indonesia menempati posisi ke 38 dari 40 negara menurut indeks daya tarik investasi energi terbarukan berdasarkan survei yang dilakukan EY (The ASEAN Post, 2018). Beberapa panel surya skala kecil telah dipasang untuk menerangi daerah terdalam Indonesia (Kementerian ESDM, 2017), namun jumlah tersebut

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Kementerian ESDM (t.t.)

Gambar 6.5 Target Bauran Energi Indonesia 2050

masih tergolong kecil dan target bauran energi masih jauh di depan mata. Fakta bahwa belum adanya aturan hukum yang jelas mengenai investasi di bidang energi terbarukan juga membawa ketidakjelasan pada investor asing. Peran pemerintah sangat diperlukan untuk mendorong bauran energi terbarukan mengingat persentase masalah terbesar adalah pemahaman masyarakat dan aktor lokal mengenai energi terbarukan.

C. Perkembangan Pasar Energi Dunia dan Indonesia

Beberapa dekade belakangan ini, isu lingkungan dan pemanasan global menjadi topik yang hangat untuk dibicarakan. Perjanjian Paris menjadi titik balik bagi masyarakat internasional untuk refleksi diri akan aktivitas yang dapat membahayakan alam dan kelangsungan hidup manusia. Peraturan dan filosofi dukungan energi terbarukan pun lahir sebagai solusi untuk melindungi bumi dan menjaga eksistensi flora dan fauna di dalamnya. Penelitian tentang energi yang dilakukan di banyak negara telah menghasilkan buah pikiran dalam eksploitasi energi terbarukan. Sebelum masuk mendetail mengenai energi terbarukan, ada baiknya kita membahas terlebih dahulu mengenai istilah konsumsi energi.

Secara umum, konsumsi energi dibedakan menjadi dua, yaitu energi primer dan energi listrik. Energi primer adalah total semua

Buku ini tidak diperjualbelikan.

konsumsi energi, termasuk kebutuhan hidrokarbon, sebagai bahan bakar mesin atau kendaraan. Tidak dapat dipungkiri, hingga saat ini manusia masih bergantung pada minyak sebagai bahan bakar kendaraan, mengingat sifat minyak yang mudah disimpan dan didistribusikan. Matangnya teknologi mesin pembakaran membuat bensin luas digunakan. Banyak negara juga bergantung pada pembakaran hidrokarbon dan batu bara untuk generasi listrik. Konsumsi listrik yang kita gunakan di skala rumah tangga atau industri tercatat sebagai energi listrik.

Permasalahan utama dari konsumsi hidrokarbon adalah sifatnya yang tidak dapat diperbaharui. Cadangan hidrokarbon dan batu bara sudah habis di Eropa. Oleh karena itu, negara Uni Eropa berlomba-lomba untuk mengembangkan teknologi yang dapat mengubah energi angin, radiasi matahari, potensial jatuh dari air, dan pemecahan atau penggabungan inti atom yang biasa dikenal sebagai nuklir menjadi listrik. Dari pengembangan tersebut, lahirlah teknologi eksploitasi sumber daya terbarukan, seperti turbin angin darat, panel surya, eksploitasi ombak, pasang surut, dan pusat pembangkit tenaga nuklir. Penelitian dan eksploitasi sumber daya alam (SDA) terbarukan tidak hanya dilakukan di daratan, namun juga di permukaan air dengan upaya konservasi lahan di darat untuk agrikultur. Permasalahan berikutnya adalah konsumsi hidrokarbon pada kendaraan. *Breakthrough* penemuan mobil listrik membuat banyak aturan di negara Eropa untuk mendukung mobil listrik dibandingkan mobil konvensional dengan asumsi listrik dapat digenerasi dari energi terbarukan.

Di Indonesia, pasar energi Indonesia masih didominasi oleh batu bara dan migas. Matangnya pasar batu bara dan migas disebabkan oleh matangnya proses eksploitasi SDA tersebut. Penambangan migas yang telah dimulai dari tahun 1880 membuat operasi migas dan tambang lainnya sudah dikenal baik oleh masyarakat luas. Ditambah dengan kemudahan dari teknologi pembangkit listrik tenaga uap membuat energi fosil banyak digunakan. Pasar energi fosil yang sudah berkembang pesat membuat perekonomian Indonesia bertumpu pada energi fosil. Banyaknya aktivitas ekonomi berbasis

Buku ini tidak diperjualbelikan.

energi fosil membuat ekonomi Indonesia rentan terhadap perubahan harga komoditas minyak dan mineral. Misalnya, kenaikan harga batu bara dapat membuat biaya produksi listrik dari PLTU meningkat. Penambangan batu bara masif yang dilakukan di Kalimantan dan Sumatra membawa dampak signifikan pada keberlangsungan ekosistem di sekitarnya. Lubang bekas tambang yang tidak direklamasi juga membahayakan bagi masyarakat sekitar dan cenderung tidak subur untuk ditanami tanaman.

Pasar energi terbarukan di Indonesia sendiri masih terbuka lebar. Belum banyak pemain lokal maupun internasional yang berkecimpung untuk mengembangkan energi terbarukan di Indonesia. Penyebaran Covid-19 membuat perkembangan energi terbarukan di Indonesia menurun, terutama untuk sektor panel surya (Petriella, 2020). Di tengah situasi global yang tidak pasti, ada sedikit angin segar pada perkembangan panel surya skala besar. PT PLN Persero yang diwakili oleh anak perusahanannya membuat *joint venture* dengan Masdar, perusahaan asal Uni Emirat Arab, untuk membuat panel surya terapung dengan kapasitas total 145 MW (Matich, 2020). Diharapkan dengan adanya proyek ini, mata rantai ekonomi berbasis energi terbarukan dapat dimulai dengan terbentuknya perusahaan jasa atau bahkan investor lokal yang bergerak di pembangunan panel surya.

D. Potensi Energi Terbarukan di Indonesia

Indonesia memiliki banyak sumber daya alam yang terpencar dalam 16.056 pulau (BPS, 2019). Potensi tersebut berupa angin, surya, panas bumi, dan sumber daya alam baru yaitu arus laut. Indonesia terletak di garis ekuator bumi sehingga secara geografis, potensi angin global yang disebabkan oleh *hadlay cell* tidak terlalu tinggi dibanding dengan negara yang terletak di iklim subtropis atau *temperate*. Potensi angin di Indonesia lebih condong ke arah angin lokal yang pembentukannya diakibatkan oleh kompresi dan dekompresi tekanan pada lautan dan daratan sehingga lokasi dengan potensi angin tinggi cenderung terletak di pantai. Lokasi seperti pantai selatan Pulau Jawa, pantai

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Sumber: Kementerian ESDM (t.t.)

Gambar 6.6 Potensi Angin Area Maluku dan Sekitarnya

Sumber: Kementerian ESDM (t.t.)

Gambar 6.7 Potensi Angin Pulau Sumatra

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Sumber: Kementerian ESDM (t.t.)

Gambar 6.8 Potensi Angin Pulau Kalimantan

Sumber: Kementerian ESDM (t.t.)

Gambar 6.9 Potensi Angin Nusa Tenggara dan Sekitarnya

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Sumber: Kementerian ESDM (t.t.)

Gambar 6.10 Potensi Angin Pulau Jawa

barat Pulau Sumatra, pantai selatan Pulau Kalimantan, gugusan Pulau Maluku mempunyai potensi tinggi untuk pengembangan turbin angin.

Perlu dicatat bahwa setiap sistem turbin angin mempunyai kecepatan minimal agar sayap turbin dapat berputar. Oleh karena itu, potensi angin yang dijelaskan pada gambar sebelumnya harus dikoreksi untuk perhitungan *productible* dari turbin angin. Kebalikan dengan potensi angin, potensi panel surya di Indonesia dapat dikatakan lebih besar dibanding dengan potensi angin. Dengan jam penyinaran matahari yang stabil sepanjang tahun membuat instalasi

Sumber: Global Solar Atlas (2019)

Gambar 6.11 Potensi Panel Surya di Indonesia

Buku ini tidak diperjualbelikan.

panel surya menarik untuk dikembangkan. Data berikut merupakan potensi radiasi matahari yang cukup untuk pembangunan panel surya.

Di sisi lain, terletak di cincin api atau daerah tempat tabrakan dua lempeng membuat Indonesia mempunyai banyak gunung api aktif. Dengan total 147 gunung api aktif yang tersebar di barat Sumatra, selatan Jawa, dan Maluku membuat daerah tersebut mempunyai potensi panas bumi yang tinggi. Perlu dicatat bahwa tidak semua gunung api dapat memberikan panas bumi untuk generasi listrik. Diperlukan kriteria tertentu, seperti komposisi uap air, suhu, dan karakteristik reservoir panas bumi lain agar eksploitasi panas bumi menjadi optimal dan ekonomis untuk dilakukan. Gambar 6.12 adalah peta potensi panas bumi dari Geoportal Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM).

Pada peta tersebut, simbol hijau berarti masih dalam survei pendahuluan, simbol kuning berarti sedang dalam survei rinci, simbol merah muda berarti siap dikembangkan, dan simbol merah berarti sudah terpasang. Mayoritas dari reservoir panas bumi masih dalam kategori hijau dan kuning yang berarti reservoir tersebut masih memerlukan kajian lebih lanjut mengenai karakteristik cadangan di dalamnya. Suhu yang rendah merupakan hal yang wajar ditemui pada reservoir panas bumi sehingga diperlukan teknik eksploitasi yang lebih

Sumber: Kementerian ESDM (t.t.)

Gambar 6.12 Potensi Panas Bumi Indonesia

Buku ini tidak diperjualbelikan.

optimal. Teknik eksploitasi panas bumi suhu rendah membutuhkan biaya yang lebih tinggi dibanding dengan teknik eksploitasi panas bumi suhu tinggi. Oleh karena itu, apabila ingin mengembangkan reservoir temperatur rendah dibutuhkan investasi yang lebih tinggi.

Terdapat sumber daya alam lain, seperti arus laut, pasang surut ombak, dan perbedaan temperatur laut yang dapat dikembangkan sebagai sumber listrik. Namun, teknologi yang masih dalam tahap pengembangan di dunia membuat penerapan teknologi ini di Indonesia membutuhkan biaya investasi yang tinggi.

E. Pemanfaatan dan Pengelolaan Energi serta Optimisme *Carbon Neutral*

Untuk mencapai 58% penurunan emisi gas rumah kaca seperti yang ditetapkan pada rancangan umum energi nasional (RUEN), terdapat dua strategi utama guna mencapai tujuan tersebut. Pertama, masyarakat harus dilibatkan dalam penggunaan energi terbarukan skala rumah tangga, misalnya pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap. Aturan tentang instalasi PLTS atap telah diatur pada Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2019 dan Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2019. Dengan adanya aturan ini, masyarakat dapat menikmati potongan tagihan listrik hingga sebesar 65% dari produksi listrik PLTS atap yang dihasilkan. Misalnya, satu watt listrik yang dihasilkan akan mengurangi tagihan hingga 0,65 watt dari tagihan bulan berikutnya (Setiawan, 2020). Aturan ini juga menjelaskan jika masyarakat ingin berkontribusi dengan memasang panel surya hingga sebesar 500 kilovolt ampere (kVA), sertifikat layak operasi (SLO) tidak harus dibuat. Namun, jika masyarakat ingin membangun PLTS atap lebih dari 500 kVA, SLO harus tetap diajukan. Dengan adanya aturan ini, daya tarik ekonomi PLTS atap akan semakin meningkat dengan mengurangi biaya *Operation & Maintenance* (O&M). Akan tetapi, perlu adanya klarifikasi lebih lanjut mengenai satuan yang digunakan pada aturan ini. Pada peraturan ini digunakan satuan kVA, namun ketika masyarakat awam ingin membeli panel maka satuan yang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

digunakan adalah watt. Akan lebih baik jika terdapat edukasi lebih lanjut kepada masyarakat awam mengenai satuan tersebut.

Kedua, peran pemerintah sangat dibutuhkan untuk meningkatkan bauran energi terbarukan agar mencapai target pengurangan emisi karbon. Salah satu rendahnya investasi energi terbarukan di Indonesia disebabkan oleh rendahnya APBN yang dialokasikan pada pengembangan energi terbarukan sehingga investasi hanya didasari pada sektor privat (Yusgiantoro & Utomo, 2021). Terlebih lagi, kesadaran masyarakat Indonesia terhadap energi terbarukan membawa isu sosial dan bahkan penolakan oleh masyarakat Indonesia. Seperti yang terjadi di Nusa Tenggara Timur, sejumlah masyarakat adat Wae Sano, Manggarai Barat, Flores, Nusa Tenggara Timur menolak atas proyek pengeboran panas bumi yang akan dilakukan di wilayah mereka (CNN Indonesia, 2020). Mereka beranggapan proyek tersebut berada di tengah tengah ruang hidup mereka dan mengganggu kehidupan masyarakat sekitar.

Hal-hal seperti inilah yang seharusnya menjadi tanggung jawab dari pemerintah untuk dapat membantu bernegosiasi dengan masyarakat adat dan membantu mencari jalan keluar agar target bauran energi tercapai, namun juga tidak mendapat penolakan dari masyarakat sekitar. Penolakan tersebut terjadi karena masyarakat tidak paham atas apa yang dilakukan. Edukasi masyarakat luas tentang manfaat dari pembangunan adalah solusinya.

Selanjutnya adalah pembuatan lingkungan investasi energi terbarukan yang menarik dari sisi ekonomi seperti energi fosil. Seperti yang kita ketahui bersama, ketenagalistrikan di Indonesia masih didominasi oleh batu bara dan migas mengingat kejelasan prosedur dan kemudahan investasi di bidang ini. Untuk membuat energi terbarukan dapat bersaing, kemudahan investasi harus dapat dipastikan. Kemudahan tersebut dapat dicapai dengan pembuatan peraturan instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) atau PLTS yang lebih mendetail disertai dengan kemudahan bea cukai sehingga pajak impor barang dapat dikurangi sampai Indonesia dapat memproduksi material energi terbarukannya secara mandiri. Penelitian dan kemandirian

Buku ini tidak diperjualbelikan.

produksi material energi terbarukan dapat mendorong penggunaan energi terbarukan oleh masyarakat yang lebih luas. Pemerintah juga dapat melakukan investasi pertama pada pembangunan pembangkit listrik energi terbarukan agar rantai ekonomi dapat terbentuk dan pada akhirnya mendorong masyarakat lokal untuk ikut berinvestasi di bidang ini.

Selain itu, keterbukaan informasi mengenai potensi sumber daya alam dan potensi risiko yang akan dihadapi oleh investor harus dijelaskan dan diperbarui secara berkala. Laman geoportal yang dimiliki oleh Kementerian ESDM sebagai akses data sudah baik, hanya perlu untuk diperbaharui secara berkala.

Pembuatan satuan kerja khusus yang berfokus pada transisi ekologi dan pemanfaatan energi terbarukan dapat diterapkan jika diperlukan. Prinsipnya, institusi ini akan menjadi pengawas pada pengembangan energi terbarukan. Wilayah-wilayah yang dianggap potensial untuk dilakukan pembangunan pembangkit listrik energi terbarukan dapat dilelang seperti wilayah kerja migas dan semua kontraktor yang mengelola wilayah tersebut dapat berkoordinasi dengan satuan kerja khusus ini guna mempermudah birokrasi menjadi satu pintu.

Apabila sistem pengembangan energi terbarukan sudah baik, langkah pajak karbon dapat diterapkan. Industri wajib melaporkan audit karbon sehingga kontrol pemerintah terhadap emisi gas rumah kaca dapat dilakukan. Harapannya, industri dapat mengurangi emisi karbon mereka sendiri dengan memasang PLTS atap atau berkontribusi pada pelestarian lingkungan.

REFERENSI

Badan Pusat Statistika (BPS). (2019). *Luas daerah dan jumlah pulau menurut provinsi, 2019*. https://www.bps.go.id/indikator/indikator/view_data_pub/0000/api_pub/UFpWMmJZOVZlZTJnc1pXaHhDV1hPQT09/da_01/1 diakses pada 31 Januari 2021.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Bellini, E. (2020). *Floating solar plant with LCOE of $0.051/kWh comes online in Malaysia*. https://www.pv-magazine.com/2020/10/21/floating-solar-plant-with-lcoe-of-0-038-kwh-comes-online-in-malaysia/

CNN Indonesia. (2020, 10 Maret). *Tolak proyek panas bumi, warga adat NTT surati Bank Dunia*. https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20200310145336-85-482136/tolak-proyek-panas-bumi-warga-adat-ntt-surati-bank-dunia

Global Solar Atlas. (2019). *Photovoltaic power potential Indonesia*. https://globalsolaratlas.info/download/indonesia

International Energy Agency (IEA). (2020). *Data and statistics*. https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WEOEUR&fuel=Energy supply&indicator=TPESbySource

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2017). *3 tahun kinerja sektor ESDM: Lampu surya hemat energi, melistriki desa belum berlistrik*. https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/3-tahun-kinerja-sektor-esdm-lampu-surya-hemat-energi-melistriki-desa-belum-berlistrik

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (t.t.). *Peta fasilitas dan sumber daya sektor ESDM*. https://onemap.esdm.go.id/map/indonesia_overview.html

Leader Associates. (2021, 19 Januari). Scaling up rooftop solar in Vietnam – More than 9GW installed in 2020. *PV Magazine*. https://www.pv-magazine.com/press-releases/scaling-up-rooftop-solar-in-vietnam-more-than-9gw-installed-in-2020/

Matich, B. (2020, 16 Januari). Masdar to install 145 MW of floating PV in Indonesia. *PV Magazine*. https://www.pv-magazine.com/2020/01/16/masdar-to-build-145-mw-of-floating-pv-in-indonesia/

Petriella, Y. (2020, 21 April). Gara-gara Covid-19, tren positif pengembangan PLTS terhenti. *Bisnis.com*. https://ekonomi.bisnis.com/read/20200421/44/1230308/gara-gara-covid-19-tren-positif-pengembangan-plts-terhenti

Setiawan, A. (2020). *Manfaat dan ketentuan izin panel surya atap*. https://www.indonesia.go.id/layanan/kependudukan/ekonomi/manfaat-dan-ketentuan-izin-panel-surya-atap

The ASEAN Post. (2018, 1 Juli). Indonesia's geothermal potential. https://theaseanpost.com/article/indonesias-geothermal-potential

Yusgiantoro, F. C., & Utomo, F. G. (2021, 13 Januari). Can renewable energy save Indonesia's economy?. *The ASEAN Post*. https://theaseanpost.com/article/can-renewable-energy-save-indonesias-economy

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB VII

Keberlangsungan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Indonesia sebagai Energi Bersih

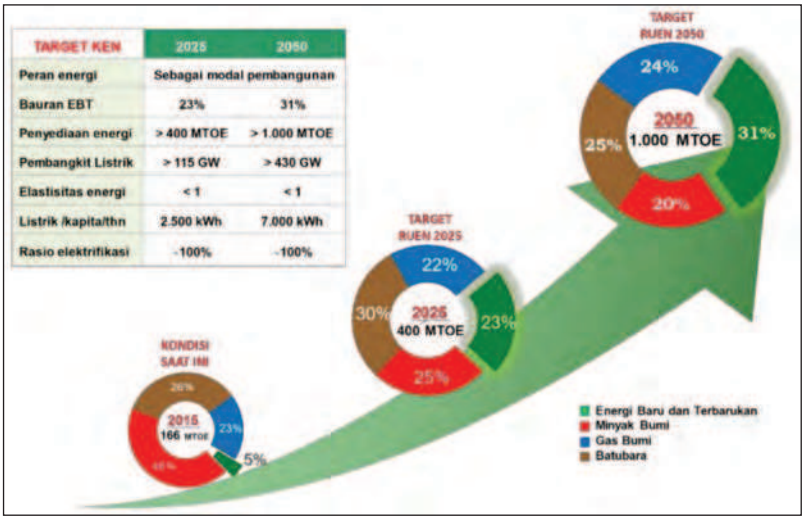
Nuralfin Anripa

A. Bauran Energi Indonesia

Pembangunan di bidang industri dan ketergantungan teknologi oleh masyarakat di Indonesia semakin pesat sehingga kebutuhan energi listrik di Indonesia juga terus meningkat. Dalam sepuluh tahun terakhir, kebutuhan energi listrik tercatat tumbuh sebesar 6,9% per tahun. Adapun kebutuhan listrik Indonesia di tahun 2025 berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) diprediksikan mencapai 135 GW (Perpres No. 22, 2017).

Pencapaian bauran energi perlu dilakukan guna mendukung kemandirian dan ketahanan energi serta pembangunan ekonomi nasional yang berkelanjutan. Tujuan dari bauran energi nasional yaitu mengurangi ketergantungan energi fosil dengan cara meningkatkan pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) dan berkontribusi dalam agenda global pengurangan emisi gas karbon dioksida (CO_2).

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Usman dkk. (2020)

Gambar 7.1 Sasaran Kebijakan Energi Nasional (KEN)/RUEN

Indonesia telah merencanakan komposisi energi yang lebih berimbang melalui target bauran energi 2050 dengan cara pengurangan konsumsi energi fosil menuju peningkatan EBT.

Dalam bauran energi nasional mengacu pada tahun 2020, sektor bahan bakar fosil masih mempunyai peran paling dominan dengan porsi minyak bumi 34,38%; batu bara 35,36%; gas bumi 19,36%; dan EBT 10,90%. Diharapkan bauran energi pada tahun 2050 akan berubah menjadi minyak dan gas masing-masing sebesar 44%, EBT 31%, dan batu bara 25% (Usman dkk., 2020).

Sumber energi listrik di Indonesia saat ini didominasi oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil, salah satunya adalah batu bara. Penggunaan bahan bakar fosil memiliki dampak negatif karena emisi karbon dapat berkontribusi pada perubahan iklim dan pemanasan global.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

B. Perkembangan Emisi Co_2

Di Indonesia, emisi gas rumah kaca (GRK) pada tahun 2005 diperkirakan sebesar 1.8 $GtCO_2e$ menurut dokumen *Second National Communication* tahun 2008. Dibandingkan pada tahun 2000, angka tersebut menunjukkan adanya peningkatan sebesar 0.4 $GtCO_2e$. Kegiatan alih guna lahan serta kebakaran hutan dan lahan merupakan sumber emisi yang paling besar dengan persentase 63%, sedangkan konsumsi bahan bakar minyak menyumbangkan emisi GRK sebesar 19% dari total emisi (Azievska dkk., 2008).

Pada tahun 2012, terjadi peningkatan emisi GRK nasional sebesar 0.452 $GtCO_2e$ dibandingkan tahun 2000. Berdasarkan dokumen *First Biennial Update Report* (BUR) yang telah disampaikan kepada *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) pada Januari 2016, emisi GRK nasional pada tahun 2012 sebesar 1.453 $GtCO_2e$. *Land-use Change and Forestry* (LUCF) termasuk kebakaran gambut (47.8%) dan sektor energi (34.9%) menjadi sektor utama yang berkontribusi mengeluarkan emisi.

Indonesia telah mencanangkan penurunan emisi GRK sebesar 26% secara sukarela dan akan mencapai 41% jika mendapat dukungan internasional. Indonesia telah mengeluarkan rangkaian perangkat hukum dan kebijakan, termasuk Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi GRK (RAN-GRK) sebagaimana dituangkan dalam Perpres No. 61/2011 dan inventarisasi GRK melalui Perpres No. 71/2011 (Sulistiawati, 2020).

Setelah tahun 2020, Indonesia menetapkan 29% target *unconditional* dan 41% target *conditional*, target tersebut mengacu pada kajian terbaru mengenai tingkat emisi GRK. Mengatasi permasalahan tersebut, pemerintah Indonesia menargetkan supaya pada tahun 2025, energi baru dan terbarukan mencapai porsi 23% dari bauran energi di Indonesia. Peningkatan EBT terus diupayakan untuk mengurangi ketergantungan pada energi berbahan bakar fosil yang melepaskan emisi karbon berbahaya bagi lingkungan. Dalam memenuhi target

Buku ini tidak diperjualbelikan.

tersebut, nuklir dapat menjadi solusi energi baru yang potensial untuk dieksplorasi demi memenuhi target bauran energi tersebut.

Nationally Determined Contribution (NDC) Indonesia menguraikan transisi Indonesia menuju masa depan rendah emisi dan berketahanan iklim, yang telah digambarkan pada periode 2015–2019 NDC dengan peningkatan aksi dan kondisi yang mendukung terkait upaya yang akan menjadi landasan untuk menentukan tujuan lebih menantang setelah tahun 2020. Upaya tersebut adalah pencegahan kenaikan temperatur global sebesar 2°C dan mengejar upaya pembatasan kenaikan temperatur global sebesar 1.5°C dibanding dengan masa praindustri.

Indonesia melihat bahwa pencapaian ketahanan iklim kepulauan merupakan hasil dari pelaksanaan program adaptasi dan mitigasi serta strategi penurunan risiko bencana yang komprehensif. Indonesia telah menentukan tujuan yang lebih menantang mengenai konsumsi dan produksi keberlanjutan terkait pangan, air, dan energi. Tujuan tersebut dapat diraih dengan cara pemberdayaan dan peningkatan kapasitas, memperbaiki layanan dasar kesehatan dan pendidikan, inovasi teknologi, dan pengelolaan sumber daya alam berkelanjutan yang sejalan dengan prinsip tata kelola yang baik (Sulistiawati, 2020).

International Atomic Energy Agency (IAEA) menyatakan bahwa tenaga nuklir adalah kunci untuk masa depan rendah emisi karbon. Oleh karena itu, IAEA berkomitmen untuk membantu negara menggunakan tenaga nuklir guna menghasilkan listrik rendah karbon dan melawan dampak terjadinya perubahan iklim. Dengan menggunakan tenaga nuklir dapat menyediakan listrik yang stabil dengan tingkat keamanan energi yang tinggi, juga emisi karbon dapat diabaikan.

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) akan digunakan untuk menjaga lingkungan hidup, kemudian menjaga ketahanan energi, dan menjadi pasokan energi dalam jumlah besar. Harapan di masa depan, PLTN dapat menjadi solusi ketahanan energi yang handal, terjangkau, dan juga ramah lingkungan. Dengan kata lain, PLTN mampu menjadi salah satu alternatif meskipun tetap harus dipertimbangkan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Kebijakan Energi Nasional (KEN) telah mengakui bahwa PLTN merupakan salah satu pembangkit energi bersih yang tidak mengemisikan CO_2. Kontribusi PLTN memenuhi 15% dari listrik dunia, yaitu sekitar 440 PLTN yang tersebar di seluruh dunia. Berdasarkan data tersebut, dapat diartikan bahwa PLTN sudah memberikan kontribusinya pada pembangunan dan peningkatan kesejahteraan masyarakat di berbagai belahan dunia. KEN Indonesia, mendorong pemakaian EBT agar terus meningkat. Meskipun dalam KEN, energi nuklir menjadi opsi terakhir sebagai upaya penghasil energi listrik untuk kebutuhan dalam negeri (PP No. 79, 2014).

Tabel 7.1 Asumsi yang dipergunakan dalam proyeksi BAU dan reduksi emisi GRK

Sektor Energi				
		BAU	Skenario Mitigasi 1 (CM1)	Skenario Mitigasi 2 (CM 2)
1.	Efisiensi dalam konsumsi energi final	Efisiensi dalam konsumsi energi final	75%	100%
2.	Penerapan teknologi batu bara bersih di pembangkit listrik	0%		
3.	Energi terbarukan dalam produksi listrik	Pembangkit listrik tenaga batu bara	19.6% (Komitmen 7.4 GW berdasarkan RUPTL)	Produksi listrik 132.74 TWh*
4.	Penerapan *biofuel* di sektor transportasi (*mandatory* B30)	0%	100%	100%

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Sektor Energi				
		BAU	Skenario Mitigasi 1 (CM1)	Skenario Mitigasi 2 (CM 2)
5.	Jalur distribusi gas tambahan	0%	100%	100%
6.	Stasiun bahan bakar gas alam terkompresi tambahan (SPBG)	0%	100%	100%
*132.74 TWh setara dengan 21.65 GW				

Sumber: Azievska dkk. (2008)

Masa depan Indonesia akan terjamin jika memiliki ketersediaan pasokan listrik dengan adanya uranium yang dimanfaatkan PLTN oleh BATAN. Menurut peneliti Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), sekitar 20 gram uranium dioksida dapat membangkitkan energi setara dengan 2,24 ton batu bara (Bastori & Birmano, 2018).

Menurut para peneliti BATAN, satu unit PLTN mampu membangkitkan listrik hingga 1500 MW dengan biaya yang lebih hemat serta ramah lingkungan dibanding dengan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Batu Bara sehingga tidak khawatir akan terjadinya kasus pencemaran lingkungan seperti di Tiongkok akibat dari penggunaan PLTU batu bara. PLTN merupakan pilihan tepat dibandingkan PLTU batu bara sebagai bentuk kepedulian terhadap permasalahan lingkungan. Untuk pembangunannya, PLTN membutuhkan waktu sekitar 3–5 tahun dan dapat dimulai dari sekarang agar ketahanan energi nasional dapat segera terwujud. Pemerintah Indonesia telah merencanakan pembangunan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) berkapasitas 10 *megawatts thermal* (MWt) di Serpong, Kota Tangerang Selatan. Proyek tersebut dilaksanakan sebagai wadah pembelajaran penguasaan PLTN sekaligus induk bagi PLTN komersial (Marjiyono dkk., 2015).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

RDE yang merupakan cita-cita besar hasil karya anak bangsa yang berkapasitas 10 MWt setara dengan tiga *megawatts electric* (MWe) atau dengan kata lain mampu menghasilkan listrik ke 2.000 rumah. RDE direncanakan akan beroperasi pada 2024 mendatang sebagai EBT yang dapat memenuhi kebutuhan listrik dan juga energi lainnya. Sebelumnya, proyek RDE telah dilindungi oleh pemerintah dengan cara dibuatnya payung hukum berupa Undang-Undang No. 10 tahun 1997.

Dalam waktu 10 tahun mendatang, ketahanan energi nasional dapat terwujud dengan adanya satu solusi yaitu sumber energi non-fosil seperti uranium yang dimanfaatkan dalam Teknologi PLTN. Solusi tersebut akan membuat masa depan Indonesia tetap cerah karena konsumsi listrik yang besar tidak lagi menjadi ancaman bagi ketahanan energi Indonesia. Justru pemanfaatan energi nuklir yang ramah lingkungan tersebut menjadi jawaban bagi Indonesia yang hendak menghadapi tantangan zaman.

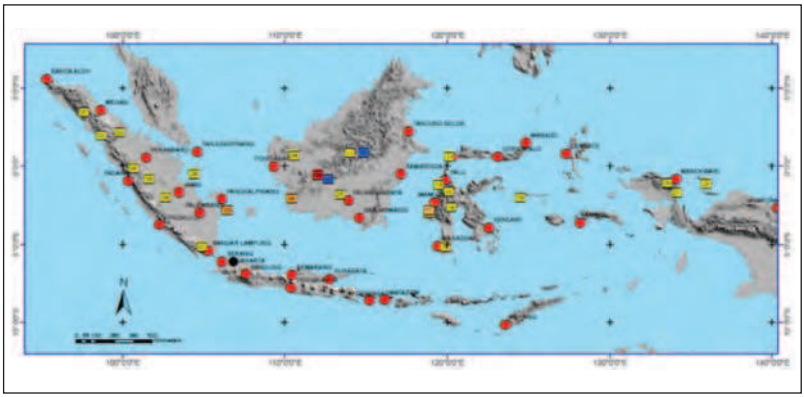
C. Sumber Uranium

Nuklir adalah sumber energi yang tidak terbarukan karena membutuhkan bebatuan uranium spesifik berjenis U-235 yang merupakan sumber daya tidak terbarukan. Dengan kata lain, uranium dapat habis meski keberadaannya masih bisa ditemui hampir di seluruh belahan dunia, termasuk di berbagai daerah di Indonesia yang ternyata memiliki kandungan uranium cukup besar.

Uranium dan torium sebagai bahan baku nuklir dapat ditemukan melalui dua cara yaitu konvensional dan non-konvensional. Bahan baku tersebut tersebar di tiga wilayah, yakni Sumatra (terdapat 31.567 ton uranium dan 126.821 ton torium), Kalimantan (45.731 ton uranium dan 7.028 ton horium), dan Sulawesi (3.793 ton uranium dan 6.562 ton torium) (Bastori & Birmano, 2018).

Jika dilihat dari tiga wilayah tersebut, Kalimantan menjadi sumber uranium terbanyak dibandingkan Sumatra dan Sulawesi. Sebagai salah satu contohnya, di daerah Kalan, Pulau Kalimantan

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Bastori dan Birmano (2018)

Gambar 7.2 Peta Persebaran Uranium di Indonesia

bagian barat terdapat kandungan uranium yang diprediksi mampu membangkitkan daya hingga 3.000 MW.

Melihat potensi yang dimiliki Indonesia tersebut memunculkan harapan baru bagi pemanfaatan teknologi nuklir ramah lingkungan guna menjamin masa depan Indonesia dalam memasok ketersediaan listrik. Namun, pengembangan EBT nuklir masih menjadi opsi terakhir karena pemerintah melihat nuklir bukan sebagai prioritas utama pengembangan energi baru terbarukan. Sebagian masyarakat masih ragu terhadap bahan bakar itu.

D. Pro dan Kontra Masyarakat Terkait Nuklir

Teknologi nuklir sudah lama dimanfaatkan dalam sektor kesehatan, pertanian, dan perkebunan. Namun, sebagian masyarakat masih menolak karena pemikiran mereka terkait nuklir masih berkorelasi dengan bom atom yang terjadi di Hirosima, Jepang pada 1945 yang lalu. Pemerintah tidak melarang adanya PLTN di Indonesia, namun pemerintah telah meninjau bahwa nuklir bukanlah prioritas utama, tetapi menjadi pilihan terakhir dalam pengembangan energi baru terbarukan. Hal tersebut karena pemerintah mempertimbangkan bahwa masih terdapat banyak sumber daya energi terbarukan lainnya

Buku ini tidak diperjualbelikan.

yang cukup melimpah seperti panas bumi dan matahari sehingga anugerah yang melimpah di Indonesia tidak termanfaatkan secara maksimal jika Indonesia menggunakan PLTN, sedangkan dari segi teknologi dan daur ulang limbahnya, PLTN masih bergantung dari luar negeri.

E. Negara-Negara yang Sudah Memanfaatkan PLTN

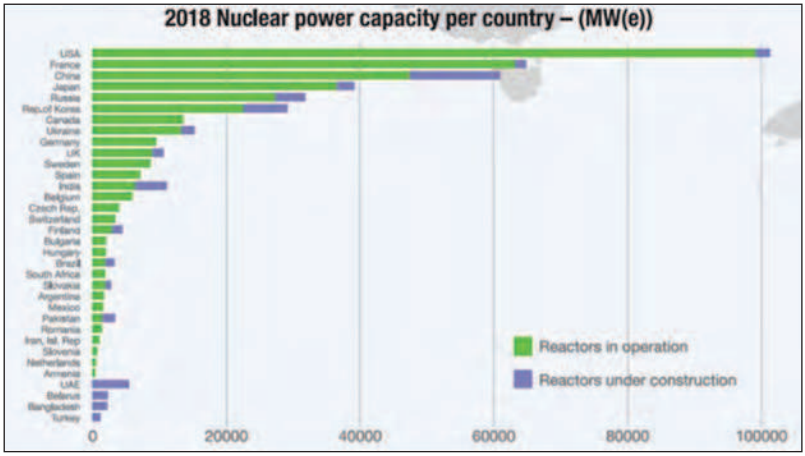
Berdasarkan pengalaman negara yang sudah mengoperasikan PLTN, keselamatan menjadi hal yang paling berisiko untuk nuklir. Diperlukan keamanan yang cukup tinggi untuk menggunakan nuklir karena kecelakaan reaktor nuklir pada tahun 1986 di Chernobyl, Ukraina merupakan contoh kecelakaan yang tidak dapat dilupakan. Namun dalam hal ini, dapat dipahami jika permasalahan dalam keselamatan tergolong rendah, Ukraina tidak akan memakai nuklir. Adapun perusahaan setempat akan memanfaatkan momentum pembangunan reaktor sebagai ajang edukasi.

Amerika Serikat merupakan negara dengan PLTN terbesar di dunia. Negara ini mampu mengolah hingga 852 triliun watt per jam. Angka tersebut sama dengan 30,5% dari total produksi PLTN global. Negara adikuasa lainnya, Tiongkok, menyusul dengan memproduksi listrik bertenaga nuklir sebesar 348,7 triliun watt per jam. Produksinya setara dengan 12,5% dari keseluruhan produksi PLTN dunia (IAEA, 2019).

Dari banyaknya energi pembangkit listrik, nuklir yang dipandang mampu menggeser energi fosil karena dianggap sebagai energi bersih, aman, biaya rendah, dan mampu menghasilkan pasokan listrik dalam skala besar.

Merujuk pada laporan *Power Reactor Information System* (PRIS), negara yang memiliki reaktor nuklir pembangkit listrik terbanyak di dunia adalah Amerika Serikat. Terdapat 98 reaktor nuklir aktif dan dua reaktor nuklir yang sedang dibangun. Listrik yang dihasilkan dari semua reaktor nuklir pada tahun 2018 sebesar 807.078 GWh. Tampak bahwa listrik yang dihasilkan cukuplah besar, namun ternyata pasokan energi nuklir di negara tersebut hanya menyumbang 19,32% dari keseluruhan sumber pasokan (IAEA, 2019).

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: IAEA (2019)

Gambar 7.3 Daya Produksi PLTN per Negara

Selain Amerika Serikat, Prancis merupakan negara yang juga kebutuhan listrik nasionalnya sangat bertumpu pada reaktor nuklir. Terdapat 58 reaktor nuklir aktif dan satu yang sedang dibangun. Pada tahun 2018, Prancis menghasilkan jumlah listrik energi nuklir sebesar 393.200 GWh yang mampu memasok 71,67% kebutuhan listrik nasional, sedangkan negara-negara lain yang juga pasokan listrik nasionalnya bertumpu pada reaktor nuklir adalah Slovakia (55%), Ukraina (52%), Belgia (39%), dan Bulgaria (34%).

F. Limbah Mengandung Bahaya

Energi nuklir dipandang baik, namun bukan berarti tidak berisiko. Banyaknya kecelakaan reaktor nuklir pembangkit listrik yang telah terjadi seperti di Three Mile Island, Amerika Serikat pada 1979; Chernobyl di Uni Soviet (1986); dan terakhir Fukushima di Jepang (2011) terus menghantui negara-negara yang memiliki reaktor nuklir. Hal tersebut karena paparan radiasi nuklir yang dihasilkan sangat berbahaya bagi kelangsungan hidup penduduk sekitar dan masa aktif nuklir tersebut mampu bertahan hingga ribuan tahun. Selain itu, terdapat

Buku ini tidak diperjualbelikan.

permasalahan lain terkait limbah dari proses pengoperasian reaktor yang hingga saat ini menjadi masalah yang belum dapat dipecahkan.

Uranium merupakan bahan bakar reaktor nuklir. Sebagian besar reaktor nuklir memerlukan satu jenis uranium khusus, yaitu uranium-235 (U-235) yang mencakup 0,7 persen dari bijih uranium alam yang ditambang. Uranium yang terpilih ditempatkan dalam batang-batang bahan bakar lalu diangkut ke reaktor-reaktor nuklir pembangkit listrik. Operasi PLTN dapat mengubah bahan bakar uranium menjadi campuran elemen-elemen radioaktif yang sangat berbahaya dan beracun seperti plutonium.

Kebutuhan bahan bakar reaktor nuklir harus melalui proses pengayaan. Proses pengayaan uranium ini sudah menghasilkan limbah radioaktif. Rata-rata hanya 0,1% dari kandungan uranium yang bisa dimanfaatkan. Sebagian besar materi lainnya merupakan bahan beracun, berbahaya, dan mengandung radioaktif yang telah dipisahkan saat penambangan bijih uranium.

Waktu paruh limbah radioaktif dapat berlangsung selama ribuan tahun. Limbah radioaktif yang dihasilkan dari pengoperasian reaktor berbentuk padat, cair, maupun gas. Bahan bakar utama seperti uranium-235 dan plutonium-239 pada reaktor nuklir bisa memiliki masa aktif 24.000 tahun sebelum akhirnya meluruh ke tingkat yang aman bagi manusia.

Selama ini cara menyimpan limbah nuklir yaitu disimpan pada ruang bawah tanah maupun di permukaan. Namun, cara tersebut tidak berarti aman dan tetap berisiko karena bila terjadi kebocoran paparan radioaktif dapat menyebabkan mutasi genetika, kelainan fisik, kanker, leukemia dan kelainan reproduksi, hingga gangguan kardiovaskuler dan sistem endokrin pada manusia.

Penghasil limbah nuklir terbanyak adalah Prancis. Sudah 60 tahun terakhir Prancis menggunakan energi nuklir, namun belum dapat menjinakkan limbahnya. Berdasarkan data IAEA, tiap tahunnya dua kilogram limbah radioaktif per orang dihasilkan dari reaktor-reaktor nuklir Prancis. Dari 58 reaktor nuklir di Prancis menghasilkan sekitar 10.000 meter kubik limbah radioaktif (IAEA, 2019).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

G. Solusi Bahaya Limbah Ala Prancis

Ilmuwan Prancis Gerard Mourou dan mantan muridnya, Donna Strickland, memperkenalkan solusi laser untuk mengurangi radioaktif pada limbah nuklir. Solusi laser tersebut mampu memangkas masa aktif limbah dari waktu awal yang dibutuhkan ribuan tahun menjadi hitungan menit. Pada tahun 2018, mereka berhasil mendapat penghargaan Nobel Fisika dengan teknik laser ini.

Teknik laser ini bernama *Chirped Pulse Amplification* (CPA). CPA dikembangkan oleh Mourou dan Strickland di Laboratorium Energetika Laser, University of Rochester, Amerika Serikat. Teknik CPA telah banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti dalam bidang kedokteran yang digunakan dalam operasi pemulihan mata dan juga pengobatan kanker, bidang astronomi, dan produksi barang elektronik. Teknik CPA ini mengandalkan sistem dorongan laser berenergi tinggi dan sangat pendek.

Manfaat lain yang telah ditemukan Mourou adalah CPA dapat mengurangi radioaktif pada limbah nuklir melalui proses yang ia sebut sebagai "transmutasi". Limbah nuklir ditransmisikan menjadi bentuk-bentuk atom baru yang tidak memiliki masalah radioaktif. Apabila skenario berjalan sesuai dengan harapan, Mourou meyakini bahwa umur radioaktif dapat dipangkas dari beberapa ribu tahun menjadi beberapa menit saja.

Menurut Mourou, jika kita menambah atau menghilangkan neutron, segalanya bisa berubah. Ini bukan lagi atom yang sama dan sifat-sifatnya akan berubah sepenuhnya. Umur limbah nuklir berubah secara mendasar dan kita bisa memotongnya dari satu juta tahun menjadi 30 menit. Gagasan untuk mentransmutasi limbah nuklir bukanlah hal baru. Transmutasi radioaktif pada limbah nuklir sudah diteliti selama 30 tahun terakhir di Amerika Serikat, Jepang, Jerman, Belgia, dan Inggris.

H. Solusi Alternatif Penanganan Limbah Radioaktif

Pembuangan terjadi ketika paket limbah radioaktif disimpan di fasilitas pembuangan tanpa tujuan pengambilan. Kegiatan tersebut

Buku ini tidak diperjualbelikan.

mencakup pembuangan limbah radioaktif seperti limbah cair dan gas ke lingkungan dan pemindahan limbah dari satu lokasi ke lokasi lain.

Sebagian besar limbah radioaktif tingkat rendah (*low-level radioactive waste*/LLW) dikirim ke pembuangan di darat segera setelah pengemasannya untuk pengelolaan jangka panjang. Ini menunjukkan bahwa sebagian besar (~ 90% berdasarkan volume) dari semua jenis limbah yang dihasilkan oleh teknologi nuklir, sarana pembuangannya telah dikembangkan dan diterapkan di seluruh dunia.

Untuk bahan bakar sisa hasil reaktor yang ditetapkan sebagai limbah radioaktif tingkat tinggi (*high-level radioactive waste*/ HLW), langkah pertama adalah penyimpanan yang memungkinkan peluruhan radioaktivitas dan panas terkendali sehingga penanganannya jauh lebih aman. Penyimpanan bahan bakar sisa hasil reaktor ditempatkan di kolam khusus atau tong kering, baik di lokasi reaktor atau di pusat. Di luar penyimpanan, banyak pilihan telah diselidiki dengan tujuan memberikan solusi yang dapat diterima publik, aman, dan ramah lingkungan untuk pengelolaan akhir limbah radioaktif. Solusi yang disarankan adalah pembuangan geologis yang dalam. Fokusnya adalah bagaimana dan di mana membangun fasilitas tersebut.

Bahan bakar sisa hasil reaktor yang tidak dimaksudkan untuk dibuang langsung malah dapat diolah kembali untuk mendaur ulang uranium dan plutonium yang dikandungnya. Beberapa HLW cair yang terpisah dan muncul selama pemrosesan ulang divitrifikasi dalam wadah kaca dan disimpan menunggu pembuangan akhir.

Limbah radioaktif tingkat menengah (ILW) yang mengandung radioisotop berumur panjang juga disimpan sambil menunggu pembuangan di gudang geologi. Di Amerika Serikat, limbah *transuranic* (TRU) yang memiliki tingkat radioaktivitas yang sama dengan beberapa ILW, dibuang di tempat penyimpanan geologis dalam pabrik isolasi sampah di New Mexico. Sejumlah negara membuang ILW yang mengandung radioisotop berumur pendek di fasilitas pembuangan dekat permukaan seperti yang digunakan untuk pembuangan LLW.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Adapun cara dan pilihan lokasi yang dapat digunakan menurut Badan Energi Atom Internasional (IAEA) dalam pembuangan limbah, dengan atau tanpa penghalang buatan, meliputi

1. Fasilitas pembuangan dekat permukaan di permukaan tanah. Fasilitas-fasilitas ini berada di atas atau di bawah permukaan dengan lapisan pelindung yang memiliki ketebalan beberapa meter. Kontainer limbah ditempatkan di brankas yang dibangun dengan sistem *recharge* ketika penuh. Selanjutnya, kontainer akan ditutup dengan membran kedap air dan tanah lapisan atas. Fasilitas ini mungkin termasuk beberapa bentuk drainase dan sistem ventilasi gas.
2. Fasilitas pembuangan dekat permukaan di gua-gua di bawah permukaan tanah. Tidak seperti pembuangan dekat permukaan di permukaan tanah yang melakukan penggalian dari permukaan, pembuangan dangkal membutuhkan penggalian gua di bawah tanah. Fasilitas ini berada pada kedalaman beberapa puluh meter di bawah permukaan bumi dan diakses melalui *drift*.

Istilah pembuangan dekat permukaan digunakan untuk menggantikan istilah "tanah dangkal" dan "pembuangan tanah", tetapi istilah lama ini kadang-kadang masih digunakan saat mengacu pada opsi pembuangan ini.

Fasilitas pembuangan ini akan dipengaruhi oleh perubahan iklim jangka panjang (seperti glasiasi) dan efek ini harus diperhitungkan mengingat faktor keselamatan karena fenomena tersebut dapat mengganggu. Oleh karena itu, jenis fasilitas ini biasanya digunakan untuk LLW dan ILW berumur pendek dengan waktu paruh hingga 30 tahun.

I. Rekomendasi Terkait Pengembangan Nuklir di Indonesia

Pada saat ini, 450 pembangkit nuklir dunia di 30 negara sejak 50 tahun lalu menyumbang 11% listrik dunia tanpa mengemisikan CO_2. Setiap tahun, pembangkit tersebut mengurangi hingga 2 giga ton CO_2. Dalam hal ini, setiap tahun dapat dianalogikan seperti meniadakan 2

Buku ini tidak diperjualbelikan.

giga ton CO_2 atau 400 juta mobil di jalan raya sehingga memberikan kontribusi yang sangat signifikan saat kita ingin mencapai Conference of Parties (COP21). Konferensi yang telah diadakan di Paris tersebut menghasilkan kesepakatan supaya setiap negara berpartisipasi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca yang menjadi penyebab utama perubahan iklim.

Salah satu aspek terpenting dalam pengembangan PLTN adalah dukungan para ahli nuklir, kelompok pegiat lingkungan, dan lembaga lain yang bersangkutan. Usulan dari Perkumpulan Profesi Nuklir Indonesia (Apronuki) adalah energi nuklir dapat dimasukkan ke dalam materi Rancangan Undang-Undang EBT (RUU-EBT). Apronuki menilai energi nuklir perlu diatur dalam dua aspek undang-undang yakni aspek sosialisasi dan keselamatan.

Dalam kebijakan RUEN, nuklir disebut sebagai opsi terakhir, namun potensi energi yang dihasilkan pembangkit nuklir tidak dapat diabaikan. Nuklir sangat cocok dengan kebijakan kedaulatan energi karena sumber energi ini dapat bertahan hingga 60 tahun. Oleh karena itu, diperlukan kajian mendalam tentang keselamatan kerja nuklir demi terwujudnya ketersediaan pasokan listrik Indonesia di masa depan yang dihasilkan dari nuklir ramah lingkungan (Perpres No. 22, 2017).

REFERENSI

Azievska, M., Pop-Jordanov, J., Bosevski, T., Alcinova Monevska, S., Aleksovska, N., Andonov, S., Bergant, K., Chaushevski, A., Chukaliev, O., Donevska, K., Dzabirski, V., Filkoski, R. V, Kendrovski, V., Matevski, V., Markovska, N., Micev, I., Mukaetov, D., Nestorovski, L., Nikolov, N., … Zdraveva, P. (2008). *Second national communication on climate change (SNCCC)*. Ministry of Environment and Physical Planning of the Republic of North Macedonia.

Bastori, I., & Birmano, M. (2018). Ketersediaan uranium di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar PLTN. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, *19*, 95. https://doi.org/10.17146/jpen.2017.19.2.3999

IAEA. (2019). *Nuclear Power Reactors in the World* (Issue 2).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Marjiyono, M., Suntoko, H., Soehaimi, A., Yuliastuti, Y., & Syaeful, H. (2015). Kelas soil daerah sekitar rencana tapak reaktor daya eksperimental (RDE) Serpong dari data mikrotremor. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, *17*, 57. https://doi.org/10.17146/jpen.2015.17.1.2591

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. (2014). https://jdih.esdm.go.id/peraturan/PP%20No.%2079%20Thn%202014.pdf

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional. (2017). https://jdih.esdm.go.id/index.php/web/result/1648/detail

Sulistiawati, L. Y. (2020). Indonesia's climate change national determined contributions, a farfetch dream or possible reality?. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *423*, 12022. https://doi.org/10.1088/1755-1315/423/1/012022.

Usman, E., Priyambodo, D., Irawan, D., Restuti, A. N., Pujiwati, A., Jati, A. N., Agung PS, P., Sari, S. P., Kurniati, I., Septiyadi, E., Apriari DS, W., Ratnasari, F. D., Ahsol, Y. M., & Hutapea, R. (2020). *Bauran energi nasional*. Dewan Energi Nasional - Sekretariat Jenderal.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB VIII

Blueprint Pemberdayaan Angin dan Matahari terhadap Geospasial Tropis Indonesia dalam Pasar Pemenuhan Listrik

Yohana Noradika Maharani

A. Menilik kondisi saat ini

Pemanfaatan potensi energi alternatif sekaligus sebagai sumber energi terbarukan telah mulai banyak dilakukan sebagai pengganti energi dari bahan fosil. Indonesia terletak pada posisi geospasial yang kaya sinar matahari dengan lama penyinaran matahari selama sepuluh hingga dua belas jam dalam sehari. Posisi Indonesia cukup menguntungkan karena berada di sekitar garis ekuator yang merupakan daerah pertemuan sirkulasi Hadley, Walker, dan local (Habibie dkk., 2011). Dengan demikian, kondisi tersebut dipandang berpotensi dalam hal sumber daya angin yang bisa dimanfaatkan untuk pengembangan energi terbarukan dalam rangka pemenuhan pembangkit listrik.

Indonesia adalah negara berpenduduk terbesar di kawasan Asia Tenggara dengan permintaan kebutuhan energi masyarakat Indonesia

Buku ini tidak diperjualbelikan.

yang terus mengalami peningkatan seiring dengan laju pertumbuhan penduduk serta peningkatan sarana dan prasarana transportasi. Bahkan secara global, proyeksi permintaan energi pada tahun 2050 hampir mencapai tiga kali lipat. Topik mengenai masalah energi adalah topik yang harus diupayakan solusinya bersama-sama. Akses ke sumber energi yang terjangkau, dapat diandalkan, serta berkelanjutan sangat diperlukan mengingat hal tersebut merupakan upaya untuk mencapai banyak aspek yang ada di *Sustainable Development Goals* (SDGs) terkait pengentasan kemiskinan melalui kemajuan dalam bidang kesehatan, pendidikan, pasokan air, dan industrialisasi sebagai langkah mitigasi perubahan iklim.

Dukungan pelaksanaan SDGs di Indonesia, khususnya mengenai energi, sesuai dengan mandat SDGs tujuan tujuh, yaitu menjamin akses energi yang terjangkau, andal, berkelanjutan, dan modern untuk semua. Seperti yang tertuang dalam SDGs target tujuh pula bahwa pada tahun 2030 diharapkan pangsa energi terbarukan meningkat secara substansial dalam bauran energi global, perbaikan efisiensi energi dilakukan di tingkat global sebanyak dua kali lipat, serta tercapainya indikator bauran energi terbarukan dan intensitas energi primer (SDGs indikator 7.2.1 dan 7.3.1). Masih terkait tentang target SDGs, yaitu target 7a, bahwa pada tahun 2030 diharapkan untuk memperbanyak kerja sama internasional dalam memfasilitasi akses terhadap riset dan teknologi energi bersih, termasuk energi terbarukan, efisiensi energi, dan teknologi bahan bakar fosil yang lebih maju dan bersih, serta mendorong investasi dalam infrastruktur energi dan teknologi energi bersih. Demikian halnya target 7b yaitu menambah infrastruktur dan meningkatkan mutu teknologi untuk penyediaan layanan energi modern dan berkelanjutan bagi semua negara berkembang, khususnya negara-negara kurang berkembang, negara berkembang kepulauan kecil, dan negara berkembang terkungkung daratan sesuai dengan program bantuan masing-masing negara. Akan tetapi, indikator pada target tersebut belum tersedia di Indonesia sehingga indikator global perlu dikembangkan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Menilik pada peraturan perundangan energi di Indonesia, bahkan arah kebijakan pengembangan energi baru dan terbarukan (EBT) telah diamanatkan dalam Undang-Undang Nomor 30, pasal 20–22 Tahun 2007 Tentang Energi (UU No. 30, 2007). Kemudian, diturunkan ke Kebijakan Energi Nasional (KEN) PP No. 79 Tahun 2014 untuk selanjutnya menjadi landasan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yaitu Perpres No. 22 Tahun 2017 yang penyusunannya berpedoman pada Perpres No. 1 Tahun 2014. Selanjutnya, peraturan tersebut menjadi pedoman untuk penyusunan Rencana Pembangunan Jangka Panjang (RPJP) dan disinkronisasikan dengan Rencana Umum Energi Daerah (RUED). Bersumber pada Perpres No. 22 Tahun 2017 tentang RUEN, bisa kita lihat di Tabel 8.1 poin nomor 5 mengenai potensi energi matahari (surya) dan poin nomor 6 potensi energi angin di wilayah Indonesia. Perlu dicatat bahwa apa yang terdapat di Tabel 8.1 menurut status pada tahun 2015.

Secara khusus, bab ini membahas tentang energi terbarukan terkait pemberdayaan angin dan matahari di Indonesia dalam pasar pemenuhan listrik. Perencanaan energi perlu diupayakan dengan serius agar dapat menjamin ketersediaan energi dengan harga yang terjangkau bagi seluruh masyarakat secara jangka panjang. Selain itu, aspek penyediaan, pemanfaatan, dan pengusahaannya harus dilaksanakan dengan nilai-nilai yang berkeadilan, terus berkelanjutan, rasional, optimal, serta terpadu. Akan tetapi, melihat pada kebutuhan energi listrik nasional, rupanya belum sebanding dengan ketersediaan energi yang ada. Pemenuhan kebutuhan listrik, terutama di daerah-daerah terpencil wilayah Indonesia, biasanya masih terkendala oleh transportasi dan keadaan cuaca yang kurang mendukung. Oleh karena itu, adanya upaya diversifikasi pembangkit listrik dengan sumber energi matahari dan angin yang dalam hal ini sebagai sumber energi alternatif ramah lingkungan menjadi suatu hal yang mendesak untuk ditindaklanjuti.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tabel 8.1 Potensi Energi Baru dan Terbarukan

No.	Jenis Energi	Potensi	Kapasitas Terpasang	Pemanfaatan
1	Panas bumi	29.544 MW	1.438,5 MW	4,9%
2	Hydro	75.091 MW	4.856,7 MW	6,4%
3	Mini-mikro hidro	19.385 MW	197,4MW	1,0%
4	Bioenergi	32.654 MW	1.671,0 MW	5,1%
5	Surya	207.898 MW (4,80 kWh/m2/hari)	78,5 MW	0,04%
6	Angin	60.647 MW (≥4m/s)	3,1 MW	0,01%
7	Gelombang laut	17.989 MW	0,3 MW	0,002%

Sumber: Perpres No. 22 (2017)

B. Geliat Energi Matahari dan Angin untuk Listrik di Indonesia

Indonesia memiliki komitmen untuk pemenuhan porsi energi baru dan terbarukan dalam bauran energi nasional sebesar 23% pada tahun 2025. Indonesia merupakan negara tropis dengan sinar matahari sepanjang tahun. Pemanfaatan energi matahari untuk listrik menawarkan peluang yang unik untuk mencapai tujuan berkelanjutan jangka panjang, seperti pengembangan ekonomi modern, masyarakat yang sehat dan berpendidikan, lingkungan yang bersih, dan peningkatan stabilitas geopolitik.

Pembangkit listrik energi matahari memanfaatkan sumber daya energi matahari lokal sehingga tidak membutuhkan infrastruktur pendukung yang berat karena memang terukur dapat meningkatkan pasokan layanan listrik. Ciri penting listrik berbasis energi matahari adalah dapat diakses, utamanya oleh lokasi terpencil yang tidak memiliki akses listrik sehingga dapat memberikan peluang pengembangan di wilayah mana pun. Gambar 8.1 merupakan hamparan panel surya yang telah terpasang di Desa Wineru, Provinsi Sulawesi Utara. Hal ini menunjukan komitmen serius pemerintah dalam memenuhi kebutuhan listrik di daerah terpencil.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

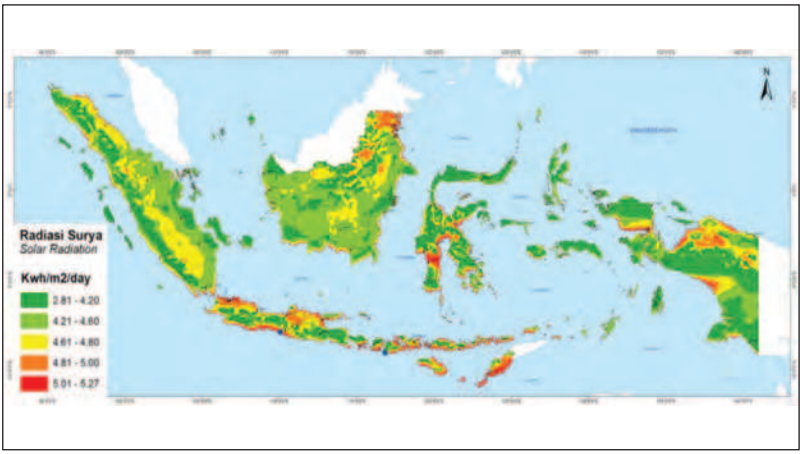
Saat ini pemanfaatan energi surya di Indonesia baru mencapai sekitar 0,05% atau 100 MW. Untuk bisa mencapai target RUEN, diperlukan peningkatan pemanfaatan energi matahari sekitar 900 MW. *Roadmap* pemanfaatan energi matahari telah dikeluarkan oleh pemerintah Indonesia yang menargetkan kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terpasang hingga tahun 2025 sebesar 0,87 GW atau sekitar 50 MWp/tahun. Jumlah ini merupakan gambaran potensi pasar yang cukup besar dalam pengembangan energi matahari di masa mendatang (Indonesia.go.id, 2020). Sebenarnya, dengan melihat potensi besar di Indonesia ini, kita optimis bahwa energi matahari mampu mendorong Indonesia mencapai 100% energi listrik hijau pada tahun 2050.

Walaupun potensi energi matahari di Indonesia cukup besar (Gambar 8.2), sayangnya investasi di sektor energi terbarukan masih terbilang rendah. Energi matahari baru bisa menyumbang 1,7% dari total produksi listrik tahun 2019. Pemerintah memperkirakan penggunaan energi matahari dalam produksi listrik hanya akan menyumbang kurang dari 10% dari total bauran energi pada tahun 2050. Dengan potensi sinar matahari yang melimpah dan topografi

Sumber: Kementerian ESDM (2020)

Gambar 8.1 Hamparan Panel Surya di Desa Wineru, Kecamatan Likupang Timur, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Kementerian ESDM (2018b)

Gambar 8.2 Peta Potensi Energi Surya di Wilayah Indonesia

yang unik, mestinya Indonesia mampu menghasilkan 100% listrik ramah lingkungan dari energi surya pada tahun 2050. Tentunya untuk dapat meraih capaian tersebut, pemerintah perlu menetapkan kebijakan yang sesuai bagi pelanggan dan penyedia listrik untuk mewujudkannya.

Indonesia sebenarnya memiliki alasan-alasan yang berpotensi untuk menghasilkan keseluruhan listrik dari energi matahari. Alasan-alasan tersebut, antara lain bahwa Indonesia memiliki sinar matahari lebih dari cukup dan juga memiliki area yang luas untuk memasang *photovoltaics.* Konsumsi listrik Indonesia adalah satu megawatt-hour (MWh) per kapita pada 2019, hanya 11% dari konsumsi Singapura. Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional Indonesia menyebutkan bahwa kebutuhan listrik negara akan mencapai 1.000 TWh atau setara dengan 3,3 MWh per kapita pada tahun 2038. Dengan asumsi jika tren ini terus berlanjut, proyeksi kebutuhan listrik akan mencapai 2.600 TWh atau 7,7 MWh per kapita pada tahun 2050 (Silalahi, 2020).

Selain energi matahari yang telah diuraikan sebelumnya, pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi listrik di Indonesia memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut. Kawasan pesisir

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Sumber: Kementerian ESDM (2018a)

Gambar 8.3 Peta Sebaran Potensi Energi Angin di Wilayah Indonesia di Atas Kecepatan 4 m/s

Indonesia memiliki potensi angin melimpah dengan total kapasitas terpasang dalam sistem konversi energi angin saat ini kurang dari 800 kilowatt. Langkah awal yang paling penting dilakukan adalah pemetaan potensi energi angin di Indonesia. Secara alamiah, wilayah di Indonesia umumnya memiliki kecepatan angin di bawah 5,9 m/s yang secara ekonomi tetap memiliki kelayakan untuk dibangun pembangkit listrik.

Mengacu pada Kebijakan Energi Nasional, bahwa pembangkit listrik berbasis energi angin atau Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) harus mampu mencapai 250 MW pada tahun 2025. Ada beberapa wilayah di Indonesia yang berada pada daerah angin karena adanya *nozzle effect* atau penyempitan dua pulau atau daerah di lereng gunung antara dua gunung yang lokasinya berdekatan. Data pada tahun 2015 menunjukkan bahwa total potensi energi angin di Indonesia adalah 60.647 MW dengan kecepatan angin di atas 4 m/s yang bisa kita lihat pada Gambar 8.3, yaitu peta potensi energi angin Indonesia. Akan tetapi, peta ini hanya sebagai peta indikatif potensi energi sehingga untuk keperluan pembangunan pembangkit listrik tenaga angin perlu dilakukan studi kelayakan lebih lanjut.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Proses dalam memanfaatkan energi angin pada dasarnya dilakukan lewat dua tahap konversi energi yaitu aliran angin menggerakkan baling-baling sehingga berputar mengikuti angin yang berhembus, kemudian hasil putaran tadi dihubungkan ke generator. Dari generator inilah dihasilkan arus listrik. Membahas tentang teknologi turbin, perkembangan secara matang telah terjadi selama bertahun-tahun. Turbin angin skala kecil dapat digunakan untuk kebutuhan di dalam negeri serta komunitas dan proyek energi angin yang lebih kecil sehingga tentunya hal ini bisa menjadi sistem yang berdiri sendiri atau disebut *standalone system* dan terhubung dengan jaringan. Teknologi ini menjadi bagian penting dari industri kelistrikan berbasis energi angin. Secara teori, jumlah listrik yang dihasilkan turbin angin bergantung pada tiga faktor (BWEA, 2005). Faktor pertama adalah kecepatan angin. Jika angin berhembus dengan kecepatan dua kali lipat, energi konten akan meningkat sebanyak delapan kali lipat. Turbin di lokasi yang kecepatan anginnya 8 m/s mampu memproduksi sekitar 75–100% lebih banyak listrik dibandingkan tempat yang rata-rata kecepatan anginnya 6 m/s. Faktor kedua adalah ketersediaan turbin angin. Ini adalah kemampuan untuk beroperasi saat angin bertiup, misalnya kondisi turbin angin yang tidak dalam pekerjaan pemeliharaan. Kemampuan ini biasanya sekitar 98% atau lebih pada mesin modern dari Eropa. Faktor ketiga adalah cara kerja turbin angin. Ladang angin atau *wind farm* ditata sedemikian rupa sehingga satu turbin tidak menahan angin dengan jarak yang terlalu jauh dari turbin yang lainnya. Bagaimanapun, faktor lain juga harus dipertimbangkan, seperti lingkungan, visibilitas, dan persyaratan koneksi jaringan atau *grid connection* yang seringkali lebih diutamakan untuk tata letak penangkapan angin yang optimal. Dengan pertimbangan turbin yang terhubung ke jaringan, *output* dari turbin angin langsung terhubung ke jaringan listrik yang terdapat pasokan listrik. Sistem ini dapat digunakan untuk *individual wind turbines* dan untuk ladang angin guna mengekspor listrik ke jaringan listrik yang ada. Angin yang terhubung ke jaringan turbin bisa menjadi proposisi yang baik jika kita mengonsumsi listrik yang tinggi.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Energi terbarukan memiliki posisi sangat penting dalam perjuangan kita melawan perubahan iklim dan teknologi di bidang energi angin dapat membantu sistem pembangkit listrik yang berkelanjutan di masa depan. Melihat contoh yang sudah terbangun seperti adanya pembukaan ladang angin di Sidrap, Sulawesi, mampu menghasilkan 75 MW listrik dan dapat memberi daya hingga 70.000 rumah tangga (Hajramuni, 2018). Proyek tersebut merupakan bagian dari ambisius program kelistrikan 35.000 MW. Mengingat pentingnya peluang ini, peran penting turbin angin untuk masa depan energi Indonesia perlu menjadi perhatian ilmuwan Indonesia dan didukung oleh pemerintah, terutama adanya pemikiran kritis tentang teknologi ini, khususnya studi tentang fundamental aerodinamika dan aliran turbulensi. Penulis meyakini bahwa belum banyak studi tentang topik tersebut oleh institusi yang berbasis literatur di Indonesia. Dalam beberapa tahun terakhir, telah ada penelitian yang melihat pengaruh topografi perbukitan dan luas permukaan pada turbin angin (Maharani dkk., 2009; Shamsoddin & Porté-Agel, 2018). Studi ini mengkritisi tentang bentuk topografi realistis yang berguna untuk mencapai ladang angin yang efektif dan efisien. Tentunya, situasi ini perlu ditangani segera jika Indonesia menghendaki untuk mencapai target energi terbarukannya dan menjadi pengguna energi angin yang terkemuka, setidaknya di tingkat ASEAN.

C. Percepatan Energi Angin dan Matahari di Indonesia

Dalam satu dekade terakhir, kenaikan harga BBM dan isu pemanasan global telah mencetuskan banyak minat untuk menemukan cara mengurangi konsumsi energi. Hal ini terefleksi pada tahun 2005 tentang *European Commission Emission Trading System* (ETS) yang mensyaratkan semua 25 anggota Uni Eropa untuk mengurangi emisi sebesar 21% pada tahun 2020 (Ellerman & Buchner, 2007). Besaran skema tersebut tentunya memengaruhi sektor energi sehingga memaksa untuk mengadopsi sumber energi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Dengan demikian, skema serupa juga akan diluncurkan secara global di beberapa poin di masa depan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Indonesia sebagai negara berkembang dengan dominasi energi dari sumber fosil (tak terbarukan) diperkirakan akan bertahan hingga 2050. Namun, sebagai penandatanganan kesepakatan Paris, Indonesia memiliki tugas untuk mengurangi pelepasan CO_2 ke atmosfer. Artinya, negara tidak bisa bergantung pada sumber bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan batu bara. Apalagi pemerintah Indonesia saat ini menargetkan penggunaan energi terbarukan yang ambisius sebesar 23% dari total sumber energi. Untuk mencapai target tersebut, pemerintah telah meningkatkan program energi terbarukan, dalam hal ini contohnya energi matahari dan angin. Dengan potensi energi angin dan limpahan sinar matahari yang luas dan konsisten di Indonesia, ditambah dengan rendahnya harga *solar photovoltaic*, kita optimis bisa mencapai 100% listrik terbarukan dengan emisi nol sangat layak untuk dicapai Indonesia pada tahun 2050.

Meskipun kita menyadari bahwa Indonesia memiliki potensi besar di bidang energi matahari dan angin yang cukup melimpah, namun Perusahaan Listrik Negara (PLN) yang hingga saat ini menjadi pemasok utama dan satu-satunya kebutuhan listrik, juga memiliki kendala untuk tidak dapat langsung memanfaatkannya karena masih terikat tandatangan kontrak dengan berbagai operator pembangkit listrik dan biasanya kontrak ini berlangsung selama 20 tahun (Silalahi, 2020).

Terkait tenaga listrik berbasis energi angin, ada harapan ke depan yang bisa kita pikirkan sebagai solusi bersama, misalnya mengenai efisiensi turbin angin dan cara-cara untuk lebih meningkatkan keluaran listrik dari ladang angin di masa mendatang. Hal berikutnya adalah mendapatkan kajian lebih terkait fundamental aliran turbulensi di atas permukaan kasar (tutupan lahan) ladang angin agar tercapai efisiensi ladang angin secara akurat. Dengan demikian, hal ini juga menjadi peluang bagi para ilmuwan Indonesia untuk mengembangkan energi angin secara berkelanjutan.

Dengan mempertimbangkan kondisi hingga saat ini terkait kecepatan pengembangan energi terbarukan, Indonesia jelas memerlukan kebijakan yang ambisius dan pelaksanaan yang komprehensif dalam

Buku ini tidak diperjualbelikan.

program energi baru dan terbarukan. Dalam hal ini, perlu pelibatan banyak pihak seperti penngkatan peran swasta untuk mendukung percepatan implementasi energi listrik dari energi angin dan matahari dalam rangka pencapaian bauran energi terbarukan di Indonesia. Oleh karena itu, pembenahan regulasi diperlukan untuk memaksimalkan pengembangan energi baru dan terbarukan.

Masih banyak daerah-daerah yang belum bisa terjangkau untuk pengembangan sistem tenaga listrik berbasis energi matahari dan angin. Indonesia memerlukan adanya perluasan jaringan *(grid)* dan pembangunan infrastruktur secara berkelanjutan dan terintegrasi, khususnya untuk daerah-daerah yang belum teraliri listrik secara jangka panjang. Selain itu, juga perlu dijadikan pertimbangan khusus mengenai harga yang terjangkau oleh masyarakat. Dengan demikian, Indonesia memerlukan adanya penerapan kebijakan yang mengatur mengenai harga dan insentif yang tepat untuk mendorong geliat investasi di bidang energi matahari dan angin dengan dukungan dari berbagai sektor. Adanya dukungan kemitraan antara pemangku kepentingan, dunia usaha, pemberdayaan masyarakat, serta adanya edukasi dan pelatihan yang tepat dapat memastikan keberlanjutan dari fasilitas energi angin dan matahari yang telah dibangun maupun yang direncanakan akan dibangun.

Selain partisipasi aktif dan koordinasi lintas sektor di tingkat nasional dan daerah untuk percepatan pengembangan energi angin dan matahari, juga sangat penting memelihara komitmen dan semangat semua pihak agar pemenuhan porsi energi baru dan terbarukan dalam bauran energi nasional sebesar 23% bisa tercapai pada tahun 2025.

REFERENSI

BWEA. (2005). *BWEA briefing sheet: Wind turbine technology*.

Ellerman, A. D., & Buchner, B. K. (2007). The European Union emissions trading scheme: Origins, allocation, and early results. *Review of Environmental Economics and Policy*. https://doi.org/10.1093/reep/rem003.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Habibie, M. N., Sasmito, A., & Kurniawan, R. (2011). Kajian potensi energi angin di wilayah Sulawesi dan Maluku. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. https://doi.org/10.31172/jmg.v12i2.99.

Hajramuni, A. (2018, 2 Juli). Jokowi inaugurates first Indonesian wind farm in Sulawesi. *The Jakarta Post*. https://www.thejakartapost.com/news/2018/07/02/jokowi-inaugurates-first-indonesian-wind-farm-in-sulawesi.html#:~:text=President Joko "Jokowi" Widodo on,its kind in Southeast Asia.

Hidranto, F. (2020). Energi surya berakselerasi di tengah pandemi. *Indonesia.go.id*. https://indonesia.go.id/narasi/indonesia-dalam-angka/ekonomi/energi-surya-berakselerasi-di-tengah-pandemi

Kementerian ESDM. (2018a). *Peta potensi energi angin Indonesia*. ESDM.

Kementerian ESDM. (2018b). *Peta potensi energi surya Indonesia*. ESDM.

Kementerian ESDM. (2020). *Menengok ladang panel surya terbesar di Indonesia*. https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/03/13/2508/menengok.ladang.panel.surya.terbesar.di.indonesia?lang=en

Maharani, Y. N., Lee, S., & Lee, Y. K. (2009). Topographical effects on wind speed over various terrains: A case study for Korean Peninsula. *7th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, APCWE-VII*.

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional. (2017). https://jdih.esdm.go.id/index.php/web/result/1648/detail

Shamsoddin, S., & Porté-Agel, F. (2018). Wind turbine wakes over hills. *Journal of Fluid Mechanics*. https://doi.org/10.1017/jfm.2018.653

Silalahi, D. F. (2020, 22 April). Why solar energy can help Indonesia attain 100% green electricity by 2050. *The Conversation*. https://theconversation.com/why-solar-energy-can-help-indonesia-attain-100-green-electricity-by-2050-134807.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi. (2007). https://jdih.esdm.go.id/peraturan/uu-30-2007.pdf

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB IX

Energi Listrik Terbarukan Sistem Hibrida dengan Panel Surya untuk Desentralisasi di Indonesia

David Setiawan Sanjaya

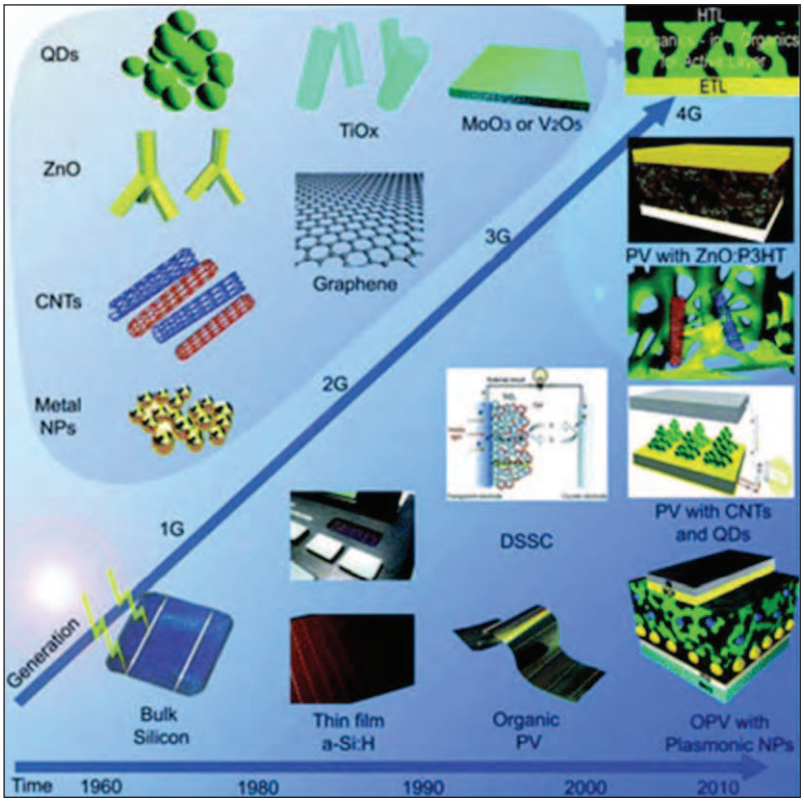
A. Potensi Tepat untuk Indonesia

Di era globalisasi ini, banyak negara yang berlomba-lomba mewujudkan "kota cerdas terbarukan dan berkelanjutan", terutama negara-negara maju yang selangkah jauh di depan negara-negara berkembang dalam mengejar perkembangan optimalisasi teknologi untuk menghasilkan energi yang berkelanjutan dan baru terbarukan.

Plus energy district (Jerman) merupakan lingkungan bangunan dengan penggunaan lahan perumahan dan perkantoran yang diliputi dengan instalasi panel surya lebih dari 90% luasan atap bangunan dan memiliki prediksi efisiensi secara teoritis mencapai 34%.

Negara-negara maju, terutama Tiongkok, telah mempersiapkan *Energy Saving and New Energy Vehicle Technology Roadmap.* Dalam strateginya pada 2025 mendatang, penggunaan bahan bakar dikategorikan berdasarkan skala kendaraan, baik pribadi hingga umum. dengan mendukung penggunaan energi yang ramah lingkungan, dari penggunaan bahan bakar listrik sampai kendaraan umum yang menggunakan bahan bakar hidrogen.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: APEC (2019)

Gambar 9.1 Grafik Waktu Empat Generasi Perangkat Panel Surya

Indonesia telah berusaha mencapai target dalam meningkatkan kualitas sumber daya alam yang ada, namun tidak dapat dimungkiri bahwa Indonesia memiliki keterbatasan dalam hal teknologi. Oleh karena itu, Indonesia tertinggal dari negara berkembang lain karena masih bergantung pada energi minyak bumi sebagai pemenuhan kebutuhan pokok rakyat Indonesia. Banyak sumber daya alam yang diekspor ke luar negeri untuk diolah menjadi minyak bumi yang siap menjadi bahan bakar atau kebutuhan rumah tangga sehingga sulit bagi Indonesia untuk beralih dari energi minyak bumi ke energi terbarukan yang jauh lebih berkelanjutan dan jauh lebih efisien serta

Buku ini tidak diperjualbelikan.

ramah lingkungan. Selain itu, Indonesia harus meningkatkan potensi energi baru dan terbarukan, secara bersamaan juga dituntut untuk memenuhi kebutuhan bangsa dan negara dalam waktu singkat sehingga lebih banyak dana yang harus dialokasikan untuk subsidi kebutuhan dasar primer yang masih belum menggunakan bahan ramah lingkungan.

Meskipun Indonesia memiliki kekayaan alam yang melimpah di bidang minyak dan gas, tidak menutup kemungkinan diperlukan solusi tepat untuk melakukan konversi energi yang jauh lebih ringkas dan efisien untuk mencapai kebutuhan dasar rumah tangga yang telah menjadi polemik di pemerintahan Indonesia. Masalah besar yang dihadapi Indonesia, yaitu pemerataan kebutuhan dasar berupa listrik dan gas untuk kebutuhan rumah tangga di wilayah Indonesia, dibuktikan dengan banyaknya wilayah yang tergolong terdepan, terluar, tertinggal (3T).

Indonesia yang memiliki banyak daerah terpencil seperti perkampungan tradisional sebagai suku bangsa tradisional Indonesia dengan banyak budaya dan kebiasaan gaya hidup menunjukkan keragaman Indonesia di setiap daerah mempunyai kebutuhan berbeda-beda. Namun, ada kemungkinan daerah pedesaan mengikuti kebiasaan hidup seperti kebutuhan di kota besar. Pemerataan kebutuhan energi di Indonesia cukup baik, kecuali di Indonesia bagian timur. Keberadaan tempat-tempat seperti Wae Rebo, Nusa Tenggara Timur (NTT) sengaja tidak disentuh oleh masyarakat kota atau wisatawan guna melestarikan budaya leluhurnya. Mereka mengisolasi eksistensinya dari globalisasi yang dapat merusak kebudayaan Indonesia, terutama di daerah-daerah terpencil.

Oleh karena itu, solusi yang tepat adalah menjangkau kebutuhan dasar pedesaan dan perkotaan dengan teknologi panel surya. Indonesia memiliki potensi besar pada energi surya, namun pemanfaatannya masih terbatas. Peningkatan efisiensi bangunan konvensional yang diubah menjadi bangunan lestari, hijau, dan berkelanjutan merupakan model yang tepat untuk mengintegrasikan panel surya dengan pengisian daya pintar *(smart grid)*. Hal ini dapat menjadi solusi yang tepat

Buku ini tidak diperjualbelikan.

untuk mengoptimalkan efektivitas dan efisiensi. Dengan demikian, formula untuk mendukung energi berkelanjutan ditemukan melalui rumah *hybrid* yang didukung secara optimal dengan panel surya serta dilengkapi dengan beberapa desain demi optimalisasi penggunaannya secara teknis.

Indonesia merupakan negara berkembang dengan kepulauan terbesar di dunia yang terdiri dari 17.504 pulau (BPS, t.t.) dan dikenal dengan kata "Nusantara". Dengan jumlah penduduk mencapai 268.583.016 jiwa pada tahun 2020 (Nugraheny, 2020), negara Indonesia dilintasi garis khatulistiwa dan terletak di antara daratan benua Asia dan Australia serta di antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia. Oleh karena itu, posisinya yang berada di daerah ekuator memiliki intensitas penyinaran matahari yang baik sepanjang tahun. Posisi ini menyediakan sinar matahari yang teradiasi sehingga berpotensi untuk digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penggunaan tenaga surya untuk pembangkit listrik sebenarnya sudah dilakukan cukup lama, namun penerapannya masih terbatas pada sistem tenaga kecil atau yang lebih dikenal dengan *Solar Home System* (SHS) dengan pertimbangan biaya yang cukup besar di awal. Penerapan SHS ini pada awalnya merupakan bantuan pemerintah yang diberikan secara bersubsidi dan masyarakat pedesaan memanfaatkannya sebagai sarana penerangan pada malam hari untuk menggantikan lampu minyak tanah. Seiring berkembangnya zaman, SHS menjadi alternatif dalam menghemat energi, namun juga menjadi hambatan pemerintahan dalam mendukung kemajuan energi yang berkelanjutan dan terbarukan.

Masyarakat perkotaan merupakan komponen yang cukup besar dari komposisi penduduk Indonesia. Faktanya, hampir semua kelompok masyarakat ini berada dalam jangkauan jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN), namun memiliki karakteristik yang dominan dari masyarakat pedesaan dalam penggunaan PLTS, seperti daya beli, jenjang pendidikan, pemahaman lingkungan, dan penghematannya. Peran energi listrik dalam kebutuhan di perkotaan sangatlah penting sehingga tidak tersedianya energi tersebut secara langsung akan me-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

mengaruhi kebutuhan primer, seperti produktivitas dan kenyamanan. Beberapa ciri positif yang dimiliki oleh penghuni perkotaan ini dapat dijadikan sebagai penggerak sosialisasi PLTS perkotaan yang mandiri dan swakelola.

Pendekatan berbasis pemberdayaan masyarakat perkotaan ini diharapkan menjadi komponen penting dalam upaya peningkatan kapasitas terpasang PLTS nasional untuk mencapai target sekitar 5% energi terbarukan pada tahun 2025 sebagaimana yang tertuang dalam Kebijakan Energi Nasional. Salah satu prasyarat perluasan penggunaan PLTS komunal adalah ketersediaan peralatan dan komponen PLTS. Dengan mengkaji ketersediaan sistem PLTS di Indonesia yang kapasitasnya sesuai dengan kebutuhan rumah tangga perkotaan, meliputi data kapasitas dan vendor komponen PLTS, diharapkan dapat menjadi rujukan cepat untuk pengembangan PLTS di Indonesia, khususnya bagi masyarakat yang berminat memanfaatkan energi surya sebagai sumber pembangkit listrik sebagai partisipasi nyata dalam pembangunan pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

B. Data Pengguna Energi Terbarukan di Indonesia

Menurut artikel Kementerian ESDM (2016), data menunjukkan kapasitas untuk memasang energi baru terbarukan (EBT), termasuk pembangkit listrik tenaga surya oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN), sangat rendah dan progresnya lambat dengan *yield* sebesar 9,28 MW, dibandingkan pembangkit listrik tenaga lain, seperti PLTP (panas bumi) 523,28 MW; PLTD (diesel) 2.292,49 MW; PLTG (gas turbin) 2.669,80 MW; PLTA (air) 3.410,52 MW; dan PLTU (uap) 17.811,40 MW. Di sisi lain, Indonesia terlalu lama mengandalkan pembangkit listrik tenaga batu bara. Sebagaimana diketahui, pembangkit listrik tenaga uap sangat tidak ramah lingkungan dengan hasil pembakaran yang mencemari lingkungan.

Dalam penyediaan tenaga listrik PLN, lebih dari 30% total energi listrik yang dimiliki masih dibeli dari luar negeri. Oleh karena itu, PLN dituntut untuk dapat mengoptimalkan pembangunan pembangkit

Buku ini tidak diperjualbelikan.

EBT demi memenuhi target masa depan. Padahal, penggunaan listrik per kapita di Indonesia masih sangat rendah sehingga banyak sumber daya alam yang harus dikorbankan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari masyarakat Indonesia. Alangkah baiknya pemerintah dapat mengoptimalkan pembangkit listrik tenaga surya sebagai potensi terbesar di Indonesia untuk dikembangkan di sektor mikro atau rumah tangga demi mendorong peningkatan penggunaan listrik per kapita dan mengurangi beban pemerintah untuk mencapai kebutuhan rumah tangga masyarakat Indonesia. Selain itu, optimalisasi PLTS juga dalam rangka mendukung desentralisasi energi listrik dari energi baru terbarukan untuk menjaga lingkungan yang saat ini semakin kacau sehingga mengakibatkan bencana alam di seluruh wilayah Indonesia.

Data Kementerian ESDM (2016) juga menunjukkan jumlah pelanggan berdasarkan sektor tertentu, terlihat bahwa peran untuk meningkatkan penggunaan listrik per kapita Indonesia sangatlah penting. Di Indonesia, banyak daerah pedesaan yang belum terjangkau listrik dan pemenuhan kebutuhan listrik di pedesaan sangat rendah dibandingkan kota-kota besar di Indonesia sehingga Indonesia memiliki masalah ketimpangan sosial yang masih belum merata. Selain itu, ketimpangan social tersebut juga diperburuk dengan jaringan internet yang kurang terjangkau di kawasan timur Indonesia.

C. Eksistensi Pembangkit Listrik di Indonesia Yang Jauh Dari Kata Ramah Lingkungan

Berdasarkan data menurut EnerBi (2018), pembangkit listrik EBT hanya sebesar 12% dari total bauran energi primer yang sangat jauh dibandingkan pembangkit listrik dari sumber batu bara sebesar 50%. Hasil data pembangkit listrik di Indonesia menunjukkan pembangkit listrik tenaga batu bara masih mendominasi, padahal di berbagai negara maju maupun berkembang sudah banyak beralih karena pembangkit listrik batu bara merusak lingkungan dan tidak berkelanjutan untuk jangka panjang.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Indonesia menggunakan konsumsi 811 kW per kapita per tahun yang berarti secara teoritis hanya satu meter persegi sinar matahari dapat memberikan daya yang cukup untuk dua orang selama setahun penuh. Kuncinya sekarang adalah memanfaatkan teknologi dan mengesahkan undang-undang untuk memfasilitasi aplikasi panel surya sehingga dapat memberikan langkah besar bagi Indonesia.

Pada Tabel 9.1 terdapat data potensi pembangunan EBT di Indonesia yang menunjukkan energi matahari menempati posisi pembangkit listrik yang memiliki persentase pembangunan paling rendah dengan potensi terbesar. Indonesia masih banyak bergantung pada bahan bakar fosil yang menyebabkan pencemaran alam dan menghambat peningkatan energi berkelanjutan dan terbarukan.

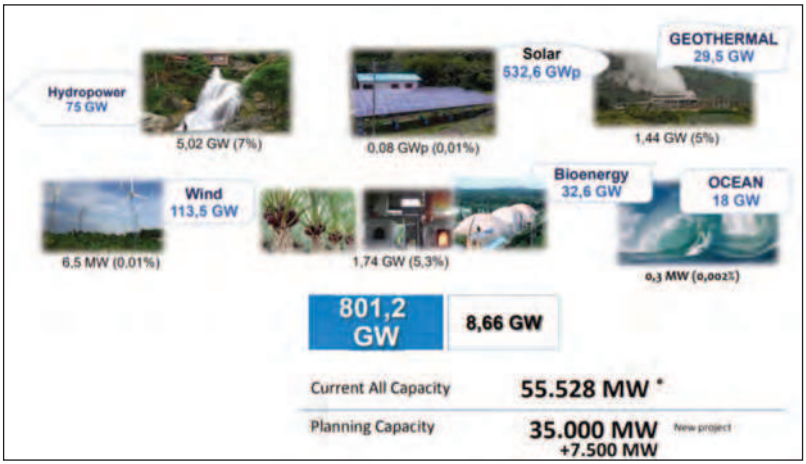
Tabel 9.1 Potensi EBT di Indonesia oleh PLN

Energi terbarukan berdasarkan sumbernya	Kapasitas (GW)		
	Committed	2025	2050 (Target)
Panas bumi	7.242 GW	7.242 GW	17.5 GW (59% of 29.5 GW Potensi)
Air	15.559 GW	20.987 GW	45 GW (60% of 75 GW Potensl)
Bio energi	2.006 GW	5.500 GW	26.1 GW (80% of 32 GW Potensi)
Surya	0.540 GW	6.500 GW	45 GW (8.5% of 532 GW Potensi)
Angin	0.913 GW	1.800 GW	28.6 GW (25% of 113.5 GW Potensi)
Energi lain	0.372 GW	3.125 GW	6.4 GW
TOTAL	26.631 GW	45.153 GW	168.6 GW

Sumber: WowShack (2018)

Di sisi lain, persentase yang ditunjukkan sebagai target pada tahun 2025 sangat tinggi dengan 12.000 lebih banyak dari keadaan saat ini sehingga menunjukkan minat Indonesia dalam pengembangan pembangkit listrik tenaga surya sangat tinggi. Tabel 9.1 ini juga

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Kementerian ESDM (2016)

Gambar 9.2 Potensi EBT di Indonesia

menunjukkan peningkatan pembangkit listrik tenaga surya yang memiliki perkembangan terbesar dibandingkan EBT lainnya.

Dalam data potensi EBT di Indonesia, PLTS memiliki potensi yang sangat besar dibandingkan energi lainnya dengan potensi sebesar 532,6 GW dan baru terealisasi 0,01%. Dari total potensi 801,2 GW yang sudah terealisasi baru 8,66 GW (Gambar 9.2).

Tabel 9.2 Jenis-Jenis Panel Surya Berdasarkan Material dan Karakter

Monocrystaline	*Polycrystaline*	*Thin Film*
Ciri khasnya dengan sel hitam	Ciri khas dengan sel biru	Ciri khas dengan sel biru
Bingkai; hitam, dan silver	Bingkai; silver	Bingkai; silver
Background; hitam, putih, dan silver	*Background*; putih, dan silver	*Background*; putih, dan silver
Efisiensi 26%	Efisiensi 15-17%	Efficiency 23.4% (CIGS) dan 21.0% (CdTe)
Aneka ragam ukuran berdasarkan jumlah sel: 60,72, dan 96 sel	Aneka ragam ukuran berdasarkan jumlah sel: 60,72, dan 96 sel	Bentuk lembaran

Sumber: Fraunhofer ISE (2020)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Indonesia juga merupakan negara yang memiliki dampak yang cukup besar dan diperhitungkan oleh negara lain karena memiliki sumber daya yang besar, baik sumber daya alam maupun manusia. Sumber daya alam merupakan salah satu faktor yang sangat erat kaitannya dengan perekonomian negara. Dengan sumber daya alam yang cukup, perekonomian Indonesia cukup berkembang dengan baik, tercatat pertumbuhan ekonomi Indonesia menduduki peringkat ketujuh dari sepuluh negara dengan pertumbuhan Produk Domestik Bruto (PDB) di dunia pada tahun 2019 (Rahadian, 2019).

Tabel 9.3 Kelebihan dan Kekurangan Berdasarkan Jenis Panel Surya

Jenis-Jenis Panel Surya	Kelebihan	Kekurangan
Monocrystalline	Efisiensi/performa tinggi, Estetik	Harga mahal
Polycristalline	Harga murah	Efisiensi/performa biasa
Thin-film	Portabel dan fleksibel, Estetik	Efisiensi/performa rendah

Sumber: ATW Solar (2020)

Dalam era globalisasi, persaingan ekonomi dunia akan sangat ketat karena persaingan kualitas sumber daya alam antarnegara yang sangat besar. Dunia seakan saling bersaing, terutama dalam distribusi sumber daya alam. Negara dengan sumber daya berkualitas rendah akan kalah bersaing dengan negara dengan kualitas sumber daya pembangkit listrik yang baik. Kemampuan sumber daya untuk berinovasi dapat menjadi kunci dalam meningkatkan perekonomian negara. Tentunya, dengan didukung oleh sumber daya listrik yang memadai dan berkelanjutan, pemenuhan dan pemerataan kebutuhan listrik di seluruh Indonesia dapat terpenuhi, terlepas dari kesenjangan sosial yang menjadi masalah utama di Indonesia.

D. Panel Surya yang Sudah Terpasang di Indonesia

Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi terbarukan di Indonesia belum dimanfaatkan secara maksi-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

mal. Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2016 menunjukkan bahwa potensi energi surya di Indonesia diperkirakan mencapai 207.898 (MW). Potensi energi yang terbesar jika dibanding dengan energi terbarukan negara lainnya, termasuk air 75.091 MW, tenaga angin 60.647MW, dan panas bumi 29.544 MW (Kementerian ESDM, 2016). Jika dibandingkan tahun 2015, perkembangan implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), termasuk PLTS Atap, terus mengalami peningkatan. Kapasitas PLTS yang terpasang pada tahun 2019 yang mencapai 145,81 MW atau meningkat 335% (ESDM, 2020) menunjukkan konsistensi pemerintah dalam meningkatkan EBT di Indonesia yang tertera dalam Rencana Strategis (Kementerian ESDM, 2021).

E. Jenis-Jenis Sistem Instalasi Panel Surya Skala Rumah Tangga

Solar home system, panel surya yang menangkap hasil radiasi matahari lalu disalurkan ke *solar controller* dan membagi hasil listrik ke baterai dan ke lampu LED sehingga hasil listrik yang masuk ke baterai dapat dimanfaatkan pada malam hari untuk sumber energi lampu LED dengan pertimbangan penggunaan lampu LED pada siang hari kurang efektif. *Sistem pump water storage* memiliki peran penting dalam memanfaatkan energi listrik yang dihasilkan pada siang hari untuk menciptakan sumber energi yang dimanfaatkan pada malam hari. Sistem *on-grid* adalah panel surya yang menangkap hasil radiasi matahari pada siang hari yang akan disalurkan langsung ke *inverter* untuk dimanfaatkan dalam kebutuhan rumah tangga sehari-hari. Bila kelebihan energi akan langsung diekspor ke PLN dengan *nett-meter*. Begitu pula sebaliknya, *nett-meter* akan mengimpor listrik dari PLN bila masyarakat membutuhkan daya secara langsung. Sistem ini tidak dapat optimal performanya bila listrik dari PLN mati sehingga tidak ada daya cadangan untuk menghasilkan energi listrik di kondisi tersebut. Sistem *off-grid*, panel surya akan menangkap hasil radiasi matahari pada siang hari untuk disalurkan ke *solar controller* dan dibagi ke baterai dan *inverter* untuk mengubah arus dari DC ke AC

Buku ini tidak diperjualbelikan.

sehingga dapat digunakan dalam kebutuhan rumah tangga. Lalu, daya listrik dapat disimpan di dalam baterai untuk kebutuhan pada malam hari.

Hybrid solar home system, panel surya yang menangkap hasil radiasi matahari pada siang hari untuk disalurkan ke *inverter* dan dibagi ke baterai dan sekaligus mengubah arus dari DC ke AC sehingga dapat digunakan dalam kebutuhan rumah tangga. Lalu, daya listrik yang disimpan di dalam baterai dapat digunakan untuk kebutuhan pada malam hari. Tidak lupa, penggunaan *net meter* setelah *inverter* digunakan untuk mengatur ekspor dan impor listrik ke PLN. Bila kekurangan daya, *net-meter* akan mengimpor daya listrik dari PLN untuk menyuplai kebutuhan rumah tangga, begitu pula sebaliknya. Bila dari *inverter* memiliki daya listrik berlebih akan diekspor melalui *nett-meter* ke PLN sehingga perhitungan listrik yang dibayarkan hanya selisih dari impor dan ekspor. Sistem *micro-grid,* modul surya yang menangkap hasil radiasi matahari pada siang hari dan mengintegrasikannya dengan didukung oleh jaringan dari *grid* ke *micro-grid*. *Micro-grid* memiliki dua arus yaitu DC/AC. Bila menggunakan DC, diperlukan inverter untuk mengubah arus terlebih dahulu agar dapat digunakan dalam kebutuhan rumah tangga.

F. Rekomendasi Pengoptimalan Panel Surya di Indonesia

Untuk jenis panel surya yang cocok, sebaiknya menggunakan *monocrystaline*. Walaupun harganya lebih mahal, tingkat efisiensi minimal dapat mencapai 26%. Pemerintah harus mempertimbangkan investasi penyedia panel surya dan jasa instalasinya. Hal ini sangat menarik minat pengguna dan mempermudah desentralisasi pembangkit listrik tenaga surya skala rumah tangga di Indonesia.

Meningkatkan kepeminatan pengguna terhadap panel surya merupakan bentuk dukungan dalam mencapai desentralisasi di Indonesia sehingga dapat meringankan beban negara dalam memenuhi kebutuhan primer. Pemerintah Indonesia diharapkan dapat lebih fokus kembali untuk mengoptimalkan dan mempercepat instalasi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

pembangkit listrik tenaga surya demi meningkatkan potensi EBT di Indonesia. Pada saat desentralisasi di Indonesia dapat tercapai, penggunaan listrik per kapita juga akan meningkat dari kebutuhan, seperti kendaraan bermotor, transportasi umum, hingga kebutuhan sehari-hari, seperti memasak akan menggunakan kompor listrik, bahkan kendaraan bermotor listrik seperti bus juga dapat berkembang dan berbahan bakar listrik/hidrogen. Upaya dalam menciptakan desentralisasi dengan teknologi panel surya ini dapat mengurangi konsumsi masyarakat dan ketergantungan pemerintahan untuk mengimpor energi seperti migas dan *biofuel* dari negara lain.

Era globalisasi akan mengubah segalanya lebih efektif dan efisien. Dengan adanya panel surya juga akan mendukung keberlangsungan *Internet of Thing* (IoT) yang menjadi pendukung utama dalam menciptakan kota yang *smart* dan *sustainable*. Pembangkit listrik tenaga surya dapat dikembangkan menjadi mikro panel yang bisa dipasang di seluruh infrastruktur kota, seperti sepeda listrik, portal elektrik, dan alat-alat IoT lainnya. Untuk sistem dari teknologi ini pun bisa dikategorikan menjadi dua kebutuhan berdasarkan jarak tempuh, rumah tangga, dan perumahan/pemukiman. Untuk rumah sebaiknya menggunakan *hybrid home system* yang bisa menggunakan alternatif panel surya dan energi utama menggunakan listrik dari PLN, dengan pertimbangan besaran daya bisa bervariasi, mulai lebih kecil dari daya rumah hingga sama dengan daya rumah. Menurut artikel (Benu, 2012) data menunjukkan sebaiknya daya panel surya disesuaikan dengan kebutuhan total beban di rumah per kWh (kilowatt per jam) yang dibutuhkan tiap hari, misalnya 900 watt. Pertimbangan selanjutnya, berapa lama beban 900 watt itu akan menyala tiap harinya. Perkiraan kebutuhan saat sore hingga malam, misalnya 12 jam. Jika 12 jam, maka total konsumsi daya perhari 10.800 watt dan penggunaan pada baterai akan diuntungkan. Bila baterai dimanfaatkan pada malam hari, sehingga kebutuhan pada saat siang dan malam dapat tercukupi, dengan pertimbangan kebutuhan daya yang dibutuhkan saat siang hari adalah setengah dari 900 watt, setengahnya akan ditampung ke dalam baterai untuk kebutuhan saat malam hari.

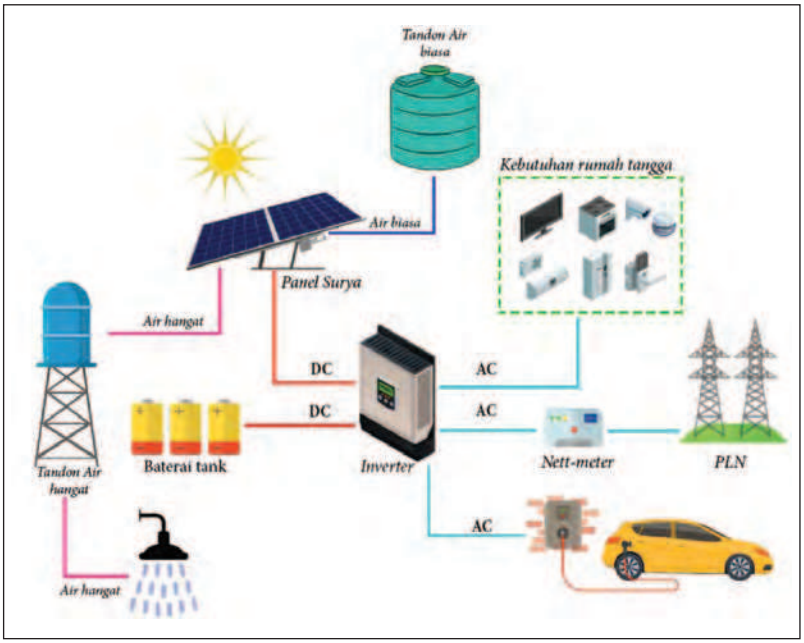
Buku ini tidak diperjualbelikan.

Selanjutnya, 10.800 watt beban daya per hari ditambahkan 20% sebagai listrik yang digunakan oleh perangkat selain surya, yaitu *inverter* untuk mengubah arus DC ke AC, *controller* (sebagai pengatur arus daya yang berlebihan di baterai akan disalurkan ke *nett meter*), *nett meter* (sebagai pengelolaan ekspor listrik yang berlebihan ke PLN dan mengimpor listrik yang kekurangan dari PLN). Jadi, (10.800 x 120%) = 12.960 watt. Dari 12.960 watt, jika dibagi 12 V (tegangan umum yang dimiliki baterai), kuat arus yang dibutuhkan adalah 1.080 A, sedangkan jika kita menggunakan baterai 65 Ah 12V, membutuhkan tujuh belas baterai (65 x 12 x 17 = 13.260 watt). Dengan mendapatkan daya baterai 13.260 watt ini akan menemukan jumlah panel yang dibutuhkan, sehingga dapat lebih terjangkau bila muncul jenis-jenis panel surya terbaru dengan tingkat efisiensi yang jauh lebih baik. Rata-rata waktu negara tropis seperti Indonesia terpapar sinar matahari adalah lima jam. Bila menggunakan panel surya *Hybrid Home System* (HHS) dengan berbagai watt, seperti 60 watt (60 watt x 5 jam = 300 watt per jam), 100 watt (100 x 5 = 500 watt per jam), 200 watt (200 x 5 = 1000 watt per jam), 440 watt (440 x 5 = 2.200 watt per jam), yang paling efisien adalah menggunakan 440 watt dan membutuhkan 6 hingga 7 unit untuk mencapai 13.200–15.400 watt per hari dengan pertimbangan biaya mencapai 70–100 juta rupiah**.**

Di sisi lain, untuk area yang cukup luas dan penggunaannya untuk pemukiman, sebaiknya menggunakan sistem *micro-grid* yaitu teknologi baru tanpa instalasi untuk menjangkau media tertentu yang memerlukan listrik. Teknologi ini berkembang pesat dari tingkat perumahan hingga antarnegara karena didukung jaringan komunikasi. Oleh karena itu, untuk PLTS berskala besar hanya memerlukan media baterai berkapasitas cukup besar dan *smart intelligent* untuk menghubungkan ke perumahan yang jaraknya berjauhan ataupun wilayah terpencil yang didukung dengan jaringan untuk mengirim daya secara langsung sesuai dengan kebutuhan. Dengan dukungan pada tahun 2021 ini, kemajuan teknologi di Indonesia menjadikan Indonesia sebagai negara penghasil baterai terbesar di seluruh dunia. Hal tersebut merupakan optimisme bahwa Indonesia dapat berpeluang besar dalam meningkatkan EBT di bidang panel surya.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Berdasarkan dari beberapa rekomendasi yang diberikan, dengan pertimbangan regulasi pemerintah Indonesia yang masih terkendala dengan biaya transisi pembangkit listrik batu bara ke pembangkit listrik tenaga surya, menyebabkan PT PLN hanya mampu membeli 85% BPP. Dengan adanya ketergantungan yang masih tinggi terhadap impor komponen utama panel surya menyebabkan pertumbuhan industri PLTS dalam negeri kurang optimal, seperti rendahnya ketertarikan investor dalam negeri untuk berinvestasi, karena risiko yang tinggi serta aset yang dijaminkan oleh pengembang berupa pembangkit listrik dinilai tidak sebanding dengan nilai pinjaman yang diberikan. Pembiayaan dalam negeri untuk proyek-proyek EBT pada umumnya menawarkan bunga tinggi dan tenor singkat sehingga membebani calon investor pengembang EBT dan proses perizinan tambahan masih perlu disederhanakan.



Gambar 9.3 Rekomendasi Penerapan Sistem Hibrida

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Oleh karena itu, muncullah sistem hibrida untuk dapat mengoptimalkan dan mengefisienkan penggunaan PLTS skala mikro ini di kalangan rumah tangga. Penerapannya yang sederhana dengan memanfaatkan beberapa teknologi dapat mendukung untuk meringankan biaya di awal, serta dapat tetap dimanfaatkan untuk kebutuhan lain. Selain itu, juga ketika terjadi penambahan kapasitas panel surya dengan bertambahnya kebutuhan listrik per kapita di Indonesia.

REFERENSI

APEC. (2019). *APEC sustainable urban development report - from models to results*. https://www.apec.org/-/media/APEC/Publications/2019/4/APEC-Sustainable-Urban-Development-Report---From-Models-to-Results/219_EWG_APEC-Sustainable-Urban-Development-Report---From-Models-to-Results.pdf

ATW Solar. (2020). *Jenis jenis panel surya*. https://www.atw-solar.id/news-and-articles/2020-08-18-jenis-jenis-panel-surya

Badan Pusat Statistik (BPS). (t.t.). *Luas daerah dan jumlah pulau menurut provinsi, 2015*. https://www.bps.go.id/indikator/indikator/view_data_pub/0000/api_pub/UFpWMmJZOVZlZTJnc1pXaHhDV1hPQT09/da_01/5 diakses pada 14 Febuari 2021

Benu, N. J. (2012, 18 Maret). Begini cara hitung pemasangan panel surya. *Okezone.com*. https://economy.okezone.com/read/2012/03/17/472/595100/begini-cara-hitung-pemasangan-panel-surya

EnerBi. (2018). *DWK Desember 2017, pengembangan energi listrik berbasis energi terbarukan di Indonesia*. https://enerbi.co.id/2018/01/dwk-desember-2017-pengembangan-energi-listrik-berbasis-energi-terbarukan-di-indonesia/

Fraunhofer ISE. (2020). *Photovoltaics report*. https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf

Kementerian ESDM. (2016). *Statistik ketenagalistrikan 2016*. https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-statistik-ketenagalistrikan-tahun-2016-1.pdf

Kementerian ESDM. (2021). *Rencana strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral 2020–2024*. https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-rencana-strategis-kesdm-2020-2024.pdf

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Nugraheny, D. E. (2020, 12 Agustus). Data kependudukan 2020: Penduduk Indonesia 268.583.016 jiwa. *Kompas.com*. https://nasional.kompas.com/read/2020/08/12/15261351/data-kependudukan-2020-penduduk-indonesia-268583016-jiwa?page=all

Rahadian, A. (2019, 30 September). Ini 10 negara dengan PDB terbesar di dunia, RI urutan berapa?. *CNBC Indonesia*. https://www.cnbcindonesia.com/market/20190930185655-20-103299/ini-10-negara-dengan-pdb-terbesar-di-dunia-ri-urutan-berapa

WowShack. (2018, 13 Desember). *6 reasons why Indonesia is ideal for renewable energy*. https://www.wowshack.com/6-reasons-why-indonesia-is-ideal-for-renewable-energy/

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB X

Optimisme Biofuel dalam Bauran Energi di Indonesia Menuju Indonesia Emas 2045

Rizky Gusti Pratiwi

A. Bahan Bakar di Indonesia

Bahan bakar fosil merupakan sumber utama bahan bakar yang digunakan dalam berbagai aspek kehidupan, terutama dalam sektor transportasi (Mortensen dkk, 2011). Kebutuhan bahan bakar di masa depan akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan pesatnya perkembangan teknologi di Indonesia. Sampai saat ini, bahan bakar minyak (BBM) yang merupakan bahan bakar fosil masih menjadi konsumsi utama di Indonesia. Ketergantungan akan BBM dan sifatnya yang tidak dapat diperbaharui menimbulkan kekhawatiran bagi Indonesia akan ketersediannya di masa depan.

Cadangan minyak bumi yang terus menurun dari jumlah 7.512 *Million Stock Tank Barrels* (MMSTB) pada tahun 2018 menjadi 3.775 MMSTB pada tahun 2019 membuat produksi minyak bumi Indonesia juga ikut menurun. Hal ini membuat Indonesia harus mengimpor minyak untuk memenuhi kebutuhan domestik. Berdasarkan data kementerian ESDM tahun 2019, ketergantungan impor minyak bumi di Indonesia pada tahun 2018 masih tinggi dengan persentase sebesar

Buku ini tidak diperjualbelikan.

35% dan nilai impor sebesar US$ 29.868,8 juta. Menurut data dari buku *Outlook Energi Indonesia* tahun 2019 berdasarkan skenario *Bussines as Usual* (BaU), untuk memenuhi kebutuhan minyak di tiap-tiap sektor hingga tahun 2050 dibutuhkan penyediaan minyak sebesar 146,6 *Million Tons of Oil Equivalent* (MTOE). Oleh karena itu, Indonesia diramalkan akan terus mengimpor minyak dengan jumlah yang lebih besar sekitar 100 MTOE (BaU) pada tahun 2050 mendatang karena angka pemenuhan kebutuhan minyak yang tidak sejalan dengan produksi minyak (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019). Kegiatan impor BBM yang terus menerus terjadi dengan harga minyak dunia yang terus meningkat akan berdampak pada terkurasnya devisa negara. Penekanan terhadap devisit migas perlu dilakukan untuk menghindari beban yang lebih besar ke depannya agar tidak berdampak terhadap sektor-sektor penggerak ekonomi lainnya, seperti pendidikan, kesehatan, industri, maupun infrastruktur. Selain masalah ketersediaannya di masa depan, penggunaan BBM juga menjadi salah satu kegiatan yang mempercepat peningkatan emisi gas rumah kaca. Seperti yang dilaporkan kementerian negara riset dan teknologi tahun 2020, produksi emisi gas buang berupa CO_2, NO_X, dan SO_X pada tahun 2002 hingga 2020 mengalami kenaikan rata-rata sebesar 3,3 kali lipat (Kadiman, 2006).

Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut, diperlukan pengembangan dan pemanfaatan bahan bakar alternatif berbasis sumber terbarukan yang berasal dari tanaman yang dikenal dengan *biofuel*. *Biofuel* termasuk jenis energi terbarukan yang sering disebut sebagai energi hijau karena emisinya tidak menyebabkan peningkatan pemanasan global secara signifikan. *Biofuel* merupakan bahan bakar nabati (BBN) berupa padatan, cairan, maupun gas yang berasal dari bahan-bahan organik. *Biofuel* dapat produksi secara langsung dari hasil pertanian maupun secara tidak langsung dari limbah-limbah hasil pertanian, domestik, komersial, dan industri. Indonesia memiliki potensi *biofuel* yang sangat besar untuk dikembangkan dan dapat digunakan secara langsung oleh sektor pengguna, namun realitanya hingga saat ini pengembangan dan pemanfaatannya masih rendah.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Untuk itu, pada bab ini akan dilakukan studi terkait potensi bahan baku *biofuel* dan optimisme Indonesia terhadap *biofuel* dalam bauran energi bersih terbarukan.

B. Potensi Bahan Baku dan Teknologi *Biofuel* di Indonesia

Indonesia dikenal dengan negara tropis yang memiliki luas hutan terbesar ketiga di dunia dengan presentase total 62% dari luas daratan. Indonesia juga memiliki lahan pertanian dan perkebunan sebesar 17%, padang rumput 7%, dan lahan lainnya sebesar 14%. Hal ini membuat Indonesia memiliki peluang besar dalam pengembangan sumber daya alam yang berpotensi sebagai sumber *biofuel*. Total potensi *biofuel* sebagai BBN (termasuk biogas) di Indonesia sebesar 200 ribu Barel per hari (Bph) yang dapat digunakan untuk keperluan bahan bakar pada sektor transportasi, rumah tangga, industri, dan komersial (DEN, 2020). Berdasarkan sumber bahan bakunya, jenis *biofuel* yang berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia adalah biodiesel dan *bioethanol*. Berdasarkan kajian data potensi bahan baku *bioenergy* di Indonesia, kelapa sawit menduduki posisi pertama dengan total potensi 12.654 megawatt (MWe), kemudian disusul sampah kota dan tanaman-tanaman pertanian lainnya seperti yang terlihat pada Tabel 10.1.

Penggunaan kelapa sawit sebagai bahan baku pembuatan *biofuel* lebih diminati oleh negara-negara ASEAN, termasuk Indonesia, karena ketersediannya yang cukup melimpah dan memiliki perbandingan hasil produk terbesar dibandingkan bahan baku lainnya. Indonesia menjadi negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia dan sebagian besar penggunaan minyak nabati di Indonesia berasal dari minyak sawit. Produksinya yang cukup melimpah menjadikan minyak sawit sebagai komoditas ekspor terbesar di Indonesia dengan nilai sebesar Rp304 trilyun per tahun 2019. Gambar 10.1 menunjukkan data sementara pada tahun 2019, yaitu luas areal perkebunan kelapa sawit dan produksi *Crude Palm Oil* (CPO) Indonesia mengalami peningkatan sebesar 3,74 juta hektar dan 14,79 juta ton dari tahun 2015.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dengan pertumbuhan produksi yang semakin meningkat dari tahun ke tahun, Indonesia dipercaya memiliki potensi dalam penggunaan minyak sawit sebagai sumber energi terbarukan (Dirjenbun, 2019).

Tabel 10.1 Potensi Bahan Baku *Biofuel* Indonesia

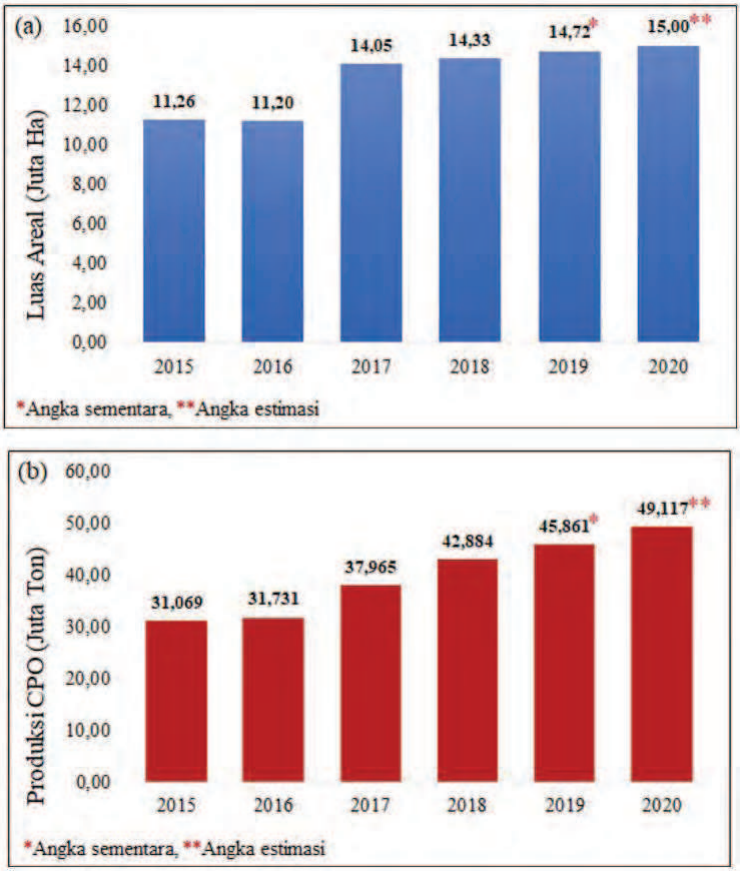
No.	Bahan baku	Total potensi (MWe)
1	Kelapa sawit	12.654
2	Tebu	1.295
3	Kelapa	177
4	Sekam padi	9.808
5	Jagung	1.733
6	Singkong	271
7	Sampah kota	2.066

Sumber: Kajian data potensi 2012–2013 (Usman dkk., 2020)

Di samping ketersediannya yang melimpah, beberapa tahun belakangan ini sawit Indonesia mengalami kampanye hitam dari Uni Eropa yang dinilai tidak ramah lingkungan karena dianggap merusak hutan hujan di daerah tropis (Bayu dkk., 2020). Pada tahun 2019, kampanye hitam ini mengakibatkan ekspor CPO mengalami penurunan sebesar 473,6 Ton ke negara-negara Eropa, seperti Belanda, Italia, dan Spanyol (BPS, 2020). Keberlangsungan kampanye hitam ini dikhawatirkan akan memengaruhi sektor industri minyak sawit yang akan berdampak terhadap ekonomi para petani sawit di masa depan. Menyikapi hal tersebut, pemerintah Indonesia menerbitkan peraturan presiden Nomor 6 Tahun 2019 yang bertujuan untuk memanfaatkan kelapa sawit sebagai energi baru terbarukan.

Minyak kelapa sawit memiliki rantai panjang hidrokarbon yang dapat diproses untuk menghasilkan bahan bakar alternatif sebagai pengganti gasolin, kerosin, dan diesel. Kandungannya yang bebas sulfur dan nitrogen dianggap sebagai bahan bakar lebih ramah lingkungan dibanding dengan BBM (Nugroho dkk., 2014).

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Dirjenbun (2019)

Gambar 10.1 Data Perkembangan Luas Areal Perkebunan Kelapa Sawit (a) dan Perkembangan Produksi CPO (b) di Indonesia

Pada umumnya, pengolahan minyak sawit sebagai *biofuel* sebagian besar menggunakan metode transesterifikasi. Pada metode ini, minyak nabati akan direaksikan dengan senyawa alkohol dan dibantu katalis asam maupun katalis basa untuk menghasilkan metil ester asam lemak dan gliserol (Hadiyanto dkk., 2016). Katalis adalah suatu zat yang ditambahkan ke dalam suatu proses untuk mempercepat

Buku ini tidak diperjualbelikan.

berlangsungnya suatu reaksi tanpa mengalami perubahan kimiawi di akhir reaksi. Menurut hasil penelitian, proses transesterifikasi menggunakan katalis basa seperti Kalium Hidroksida (KOH), Natrium Hidroksida (NaOH), maupun Natrium Metoksida lebih diminati karena sifatnya yang kurang korosif sehingga proses produksi lebih efisien dan *yield* maupun konversi produk yang dihasilkan lebih tinggi (Srivastava & Prasad, 2000). Namun, proses ini hanya menghasilkan satu jenis *biofuel* berupa biodiesel. Biodiesel merupakan jenis BBN pengganti diesel dengan unsur kimia utama berupa alkil ester yang dapat diperoleh melalui pemrosesan minyak tanaman, seperti minyak sawit, minyak kelapa, dll. Kemudian, dikembangkannya beberapa penelitian terkait teknologi-teknologi yang dapat mengolah minyak sawit menjadi bahan bakar yang lebih beragam, seperti gasolin, kerosin, maupun diesel. Teknologi-teknologi tersebut di antaranya

1. Perengkahan termal

Metode perengkahan termal merupakan proses yang memanfaatkan panas untuk memecahkan rantai panjang suatu senyawa hidrokarbon dari minyak nabati menjadi senyawa hidrokarbon yang lebih kecil. Bahan baku akan mengalami pemanasan awal yang kemudian ditampung di akumulator dan dilakukan pemanasan lanjutan dengan kisaran suhu 500–850°C. Setelah mencapai suhu perengkahan, produk yang dihasilkan akan dipisahkan sesuai dengan fraksi bahan bakar yang diinginkan (Dewanto dkk., 2017).

2. Proses *hydrocracking*

Proses *hydrocracking* termasuk proses perengkahan yang kompleks karena melibatkan katalis (contohnya NiMo, CoMo, Pt, dll) dan gas hidrogen (H_2) untuk mengonversi minyak nabati menjadi bahan bakar. Reaksi penghilangan senyawa belerang, nitrogen, dan oksigen juga terjadi bersamaan dengan reaksi perengkahan. Metode ini tergolong lebih mahal dan berisiko tinggi karena beroperasi pada suhu dan tekanan yang tinggi, namun metode ini mampu menghasilkan bahan bakar dengan fraksi-fraksi ringan yang berkualitas seperti *liquefied petroleum gas* (LPG) dan kerosin (Han-U-Domlarpyos dkk., 2015; Jin & Choi, 2019).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

3. Perengkahan katalis

Metode perengkahan katalis (*catalytic cracking*) adalah metode yang paling banyak dikembangkan oleh peneliti-peneliti di dunia karena prosesnya yang lebih sederhana yaitu perengkahan senyawa trigliserida akan berlangsung pada suhu dan tekanan yang rendah dengan bantuan katalis (Tambun dkk., 2016). Produk *biofuel* yang dapat dihasilkan dari proses ini berupa gasolin, kerosin, dan diesel. Pemilihan katalis dan proses juga menentukan kualitas dari produk yang dihasilkan. Seperti yang telah dilakukan oleh Hafriz dkk. (2018), penggunaan katalis asam menghasilkan selektifitas produk *biofuel* yang lebih rendah dan tingginya nilai keasaman dibanding dengan katalis basa. Nilai keasaman yang tinggi pada suatu bahan bakar akan berdampak negatif terhadap performa mesin karena tingginya faktor korosi (Hafriz dkk., 2018).

Selain teknologi-teknologi tersebut, Indonesia juga memiliki inovasi lainnya yang berpotensi dalam pengembangan *biofuel* Indonesia berupa *bioethanol*. *Bioethanol* adalah salah satu contoh bahan bakar berbasis ramah lingkungan karena mengandung 34,7% oksigen yang tidak dimiliki oleh bensin. *Bioethanol* memiliki kemiripan sifat fisika dan kimia dengan bensin sehingga tidak membutuhkan modifikasi mesin dalam penggunaannya dan sering kali dilakukan pencampuran dengan bensin karena angka oktannya yang sangat tinggi berkisar 106–110 (Zabed dkk., 2017). *Bioethanol* generasi pertama dihasilkan dari sumber nabati berupa tebu, jagung, singkong, dan tanaman-tanaman lainnya yang memiliki kadar glukosa yang tinggi. Namun, produksinya dianggap tidak menguntungkan karena harus bersaing dengan produksi pangan dan berpotensi mendongkrak harga komoditas pangan. Kemudian, hadirlah *bioethanol* generasi kedua yang bersumber dari biomassa lignoselulosa, seperti limbah tandan kosong kelapa sawit, ampas tebu, jerami, sekam padi, dan sebagainya (Robak & Balcerek, 2018). *Bioethanol* generasi kedua dianggap lebih menguntungkan karena memanfaatkan limbah sebagai bahan baku, sekaligus mengurangi isu lingkungan berupa pembakaran limbah hasil pertanian. Proses produksi *bioethanol* dari biomassa lignoselulosa secara

Buku ini tidak diperjualbelikan.

umum terdiri dari persiapan bahan baku (*pretreatment*), hidrolisis, dan *saccharification* dengan bantuan enzim untuk membentuk gula, kemudian difermentasi menggunakan ragi secara anaerob dan produk yang dihasilkan didestilasi sebagai *biofuel* (Mohd Azhar dkk., 2017).

C. Perkembangan dan Optimisme *Biofuel* dalam Bauran Energi Indonesia

Berdasarkan tinjauan potensi sumber daya dan inovasi-inovasi teknologi yang ada, Indonesia sangat berpotensi dan siap untuk melancarkan perjalanan energi terbarukan berupa *biofuel* ini. Seperti yang diketahui, sejak tahun 2015 Indonesia bersama dengan 192 negara Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) lainnya telah berkomitmen untuk mengimplementasikan program *Sustainable Development Goals* (SDGs) yang memiliki 17 tujuan dan 169 target. *Biofuel* memiliki peran terhadap pencapaian poin SDGs Tujuh yang bertujuan untuk memastikan akses terhadap energi bersih yang terjangkau, dapat diandalkan, berkelanjutan, dan modern bagi semua masyarakat. Kebijakan terkait mandatori pemanfaatan *biofuel* sebagai BBN pada sektor transportasi, industri, dan lainnya telah diberlakukan melalui Peraturan Menteri ESDM No. 32 tahun 2008 dan telah diperbaharui melalui Peraturan Menteri ESDM No. 12 tahun 2015. Pengembangan *biofuel* sebagai energi terbarukan yang pemanfaatannya dapat dilakukan secara langsung, terus dilakukan oleh pemerintah Indonesia. Hingga saat ini, jenis *biofuel* yang berpotensi besar untuk dikembangkan di Indonesia adalah biodiesel dan *bioethanol*.

D. Pemanfaatan Biodiesel

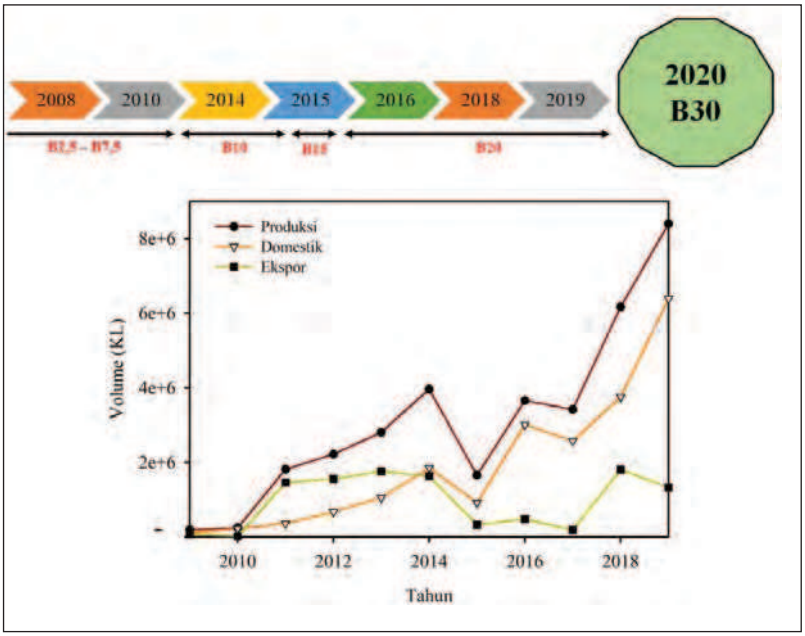
Sejak tahun 2006 pemanfaatan biodiesel sebagai bauran energi di Indonesia telah dilaksanakan di 500 Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) di DKI Jakarta, Surabaya, Malang, dan Denpasar, kemudian pada tahun 2008, diterbitkannya program yang mewajibkan pencampuran biodiesel sebesar 2,5% dengan BBM jenis solar sebesar 97,5% atau yang lebih dikenal dengan istilah B2,5 bagi para pelaku usaha maupun konsumen BBM (Kementerian ESDM, 2020). Program

Buku ini tidak diperjualbelikan.

ini berhasil menarik respons positif yang ditandai dengan peningkatan progres biodiesel B7,5 hingga B15 pada tahun 2010–2015. Kemudian pada tanggal 1 Januari 2016, implementasi B20 telah dilakukan pada sektor bahan bakar diesel bersubsidi, sedangkan penerapan pada sektor lainnya dimulai tanggal 1 September 2018. Perkembangan penggunaan biodiesel tersebut juga tidak terlepas dengan tingginya produksi biodiesel Indonesia saat ini. Berdasarkan data pada Gambar 10.2, produksi biodiesel pada tahun 2019 mengalami peningkatan sebesar 2,2 juta kiloliter dari tahun 2018 dan berhasil digunakan dalam negeri sehingga impor diesel berkurang sebesar 2,6 juta kiloliter. Penyerapan domestik biodiesel yang terealisasi secara signifikan ini terjadi setelah adanya pemberian insentif bagi seluruh sektor pengguna biodiesel. Hal ini juga menyebabkan selisih harga indeks pasar biodiesel dan diesel dapat tertutupi. Di tahun 2020, implementasi biodiesel bertambah menjadi B30 dan telah dilakukan uji jalan. Hasilnya menunjukan bahwa pengimplementasian B30 siap dilakukan di Indonesia. Ditambah lagi, Indonesia menjadi negara pertama yang mengimplementasikan B30 dari minyak sawit. Keberhasilan penerapan biodiesel hingga mencapai angka B30 tentunya Indonesia telah melalui berbagai kegiatan penelitian, pengembangan, serta dukungan pemerintah dari segi kebijakan dan lainnya. Optimisme ini akan terus berkembang dengan capaian Indonesia dalam menciptakan katalis merah putih oleh para ilmuan Indonesia. Katalis ini nantinya akan diimplementasikan ke dalam program produksi *green fuel* oleh PT Pertamina Indonesia.

Target wajib biodiesel ini juga tidak dapat dicapai hanya melalui penggunaan minyak sawit sebagai bahan baku. Limbah minyak nabati segar yang biasa dikenal dengan minyak jelantah merupakan salah satu potensi besar bahan baku industri biodiesel di Indonesia. Penggunaan jelantah ini dapat mengurangi limbah rumah tangga dan mencegah kecaman ketahanan pangan apabila minyak sawit segar secara masif digunakan untuk industri biodiesel. Menurut studi yang dilakukan oleh Koaksi Indonesia dan *International Council on Clean Transportation* (ICCT), penggunaan minyak goreng yang tinggi di

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Kementerian ESDM (2020)

Gambar 10.2 Realisasi Implementasi Biodiesel

Indonesia membuat potensi jelantah sebagai biodiesel di Indonesia bisa mencapai angka 84% dari produksi biodiesel saat ini. Terkait pengembangan jelantah sebagai biodiesel, Indonesia memerlukan regulasi yang jelas sehingga pemanfaatannya lebih optimal seperti halnya minyak sawit.

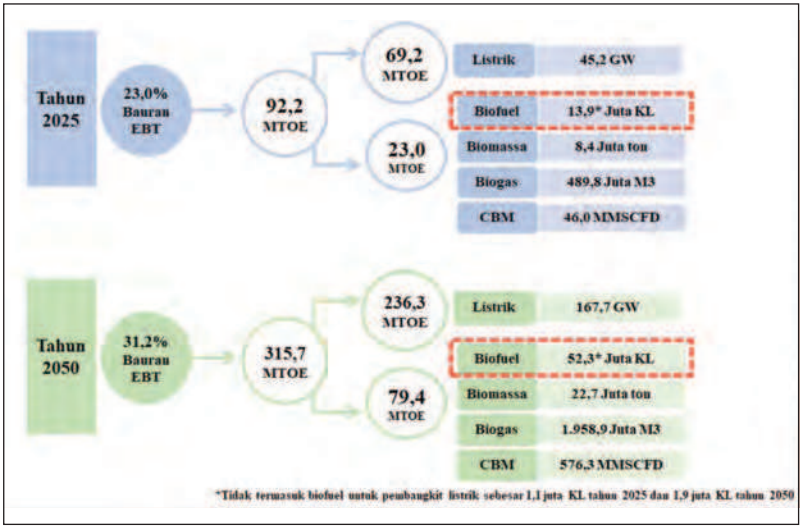
E. Pemanfaatan *Bioethanol*

Sebagai salah satu sumber bahan bakar alternatif yang diklaim ramah lingkungan dan memiliki peluang besar dalam bauran energi bersih Indonesia, *bioethanol* terus menjadi perhatian bagi Indonesia hingga saat ini. Sejak diberlakukannya regulasi terkait pemanfaatan *bioethanol* dalam pencampuran bahan bakar, Indonesia telah menetapkan penggunaan E5 (5% etanol dan 95% bensin) dan akan terus meningkat

Buku ini tidak diperjualbelikan.

hingga E20 pada tahun 2025 mendatang. Berdasarkan peta jalan sektor energi, produksi *bioethanol* Indonesia dari biomassa lignoselulosa dapat mencapai 60 kiloliter per hari. Optimisme Indonesia dalam menerapkan *bioethanol* sebagai bauran energi juga dapat didasari oleh keberhasilan negara-negara lain di dunia. Pada tahun 2018, Amerika Serikat adalah negara yang paling tinggi memproduksi *bioethanol*. Produksi *bioethanol* di Amerika Serikat sebesar 16,1 miliar galon, kemudian disusul oleh negara Brazil dengan jumlah produksi 7,95 miliar galon, dan sejak tahun 2015 Brazil juga telah berhasil menggunakan *bioethanol* E25 (25% etanol dan 75% bensin). Hal ini karena konsistensi regulasi pemerintah Amerika Serikat dan Brazil dalam menerapkan kebijakan *bioethanol* sebagai komponen wajib dalam pencampuran bahan bakar kendaraan.

Melihat kemajuan perkembangan *biofuel* di Indonesia, kapasitas terpasang *biofuel* jenis biodiesel saat ini telah mencapai 12 juta kiloliter per tahun, sedangkan kapasitas terpasang untuk *biofuel* jenis



Sumber: Perpres No. 27 (2017)

Gambar 10.3 Proyeksi Pasokan Energi Primer dan Energi Baru Terbarukan (EBT) Tahun 2025 dan 2050

Buku ini tidak diperjualbelikan.

bioethanol yang siap produksi yaitu 200 ribu kiloliter per tahun (*fuel grade ethanol*). Optimisme Indonesia dalam menempatkan *biofuel* dalam bauran energi Indonesia dapat terlihat dari target proyeksi penggunaan *biofuel* sebagai energi primer hingga 2025 mendatang (Gambar 10.3). Pada tahun 2025, pasokan *biofuel* diharapkan bisa menjadi 13,8 juta kiloliter dan terus meningkat hingga tahun 2050 sebesar 52,3 juta kiloliter (Usman dkk., 2020). Untuk mencapai target bauran tersebut, pemerintah terus mengembangkan pemanfaatan *biofuel* sebagai bahan bakar, baik itu secara langsung maupun dengan cara pencampuran dengan bahan bakar fosil. Pemerintah percaya bahwa dengan memaksimalkan pengembangan *biofuel* ini, masalah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari transportasi dapat dikurangi serta pengembangan *biofuel* juga bisa menciptakan lapangan kerja dan peluang bisnis baru sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi. Pada akhirnya, *biofuel* dapat berperan dalam peningkatan kemandirian dan ketahanan energi sektor Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) yang berkelanjutan.

F. Rekomendasi Optimalisasi Pemanfaatan *Biofuel* dalam Bauran Energi Terbarukan

Berdasarkan rencana umum energi nasional (RUEN) pada Perpres No. 22 tahun 2017, target EBT pada tahun 2025 sebesar 23% dengan target porsi *biofuel* sebesar 5%. Sementara itu, yang tercatat dalam buku *Outlook Energi Indonesia* tahun 2018, pemanfaatan EBT baru mencapai 14%. Terkait pengembangan *biofuel* sebagai energi terbarukan di Indonesia, beberapa hal seperti ketersediaan bahan baku, nilai ekonomi, teknologi pengolahan, dan regulasi-regulasi perlu diperhatikan. Harga *biofuel* sebagai BBN belum kompetitif dengan BBM yang memiliki nilai subsidi. Teknologi pembuatan *biofuel* sendiri masih tergolong mahal, contohnya *bioethanol*, karena adanya faktor-faktor penghambat, seperti penolakan dari pengusaha lokal, ongkos produksi yang tinggi, terbatasnya pasokan bahan baku, dan harga jual yang terus meningkat setiap bulannya. Oleh karena itu, Indonesia akhirnya merevisi penerapan *bioethanol* dari 5% menjadi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

2%. Hal ini tentunya menyebabkan pengembangan dan pemanfaatan *biofuel* di Indonesia masih jauh dari target bauran energi terbarukan dan sulit terdiversifikasi. Untuk itu, pemerintah perlu menyiapkan suatu kebijakan terkait penetapan standar harga bahan baku yang terjangkau secara ekonomi dan juga aspek kontinuitas dari bahan baku. Kemudian, pasar energi terbarukan, termasuk *biofuel*, di Indonesia belum terbentuk dengan baik. Diversifikasi masih cenderung lambat sehingga kegiatan pengembangan industri teknologi *biofuel* di Indonesia, khususnya di luar jawa, harus ditingkatkan. Sebagaimana yang telah ditetapkan di dalam UU No. 30 tahun 2007 terkait kewajiban peningkatan pemanfaatan energi terbarukan oleh pemerintah daerah serta dukungan berupa kemudahan dan/atau insentif bagi pelaku-pelaku usaha energi terbarukan untuk jangka waktu tertentu. Selain itu, penguatan dan pengembangan riset-riset terkait, baik itu dalam negeri maupun dengan kerja sama luar negeri, pastinya bisa mendorong percepatan pengembangan *biofuel* Indonesia. Pada intinya, konsistensi, baik dari segi pemerintah maupun pelaku-pelaku industri kecil, sangat diperlukan dalam pengembangan *biofuel* serta untuk mendukung *biofuel* dalam bauran energi di Indonesia secara masif.

REFERENSI

Badan Pusat Statistik (BPS). (2020). *Ekspor minyak kelapa sawit menurut negara tujuan utama, 2012-2019*. https://www.bps.go.id/statictable/2014/09/08/1026/ekspor-minyak-kelapa-sawit-menurut-negara-tujuan-utama-2012-2019.html

Bayu, H. P., Ningrum, S., & Alexandri, M. B. (2020). Upaya Indonesia dalam melindungi industri minyak kelapa sawit di pasar internasional. *Responsive*, *2*(3), 81. https://doi.org/10.24198/responsive.v2i3.26082

Dewanto, M. A. R., Januartrika, A. A., Dewajani, H., & Budiman, A. (2017). Catalytic and thermal cracking processes of waste cooking oil for bio-gasoline synthesis. *AIP Conference Proceedings*, *1823*. https://doi.org/10.1063/1.4978172

Dirjenbun. (2019). Statistik perkebunan Indonesia 2018–2020. *Buku Statistik Perkebunan Indonesia*, 1–82.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Hadiyanto, H., Lestari, S. P., & Widayat, W. (2016). Preparation and characterization of Anadara Granosa shells and CaCo3 as heterogeneous catalyst for biodiesel production. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, *11*(1), 21–26. https://doi.org/10.9767/bcrec.11.1.402.21-26

Hafriz, R. S. R. M., Salmiaton, A., Yunus, R., & Taufiq-Yap, Y. H. (2018). Green biofuel production via catalytic pyrolysis of waste cooking oil using Malaysian dolomite catalyst. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, *13*(3), 489–501. https://doi.org/10.9767/bcrec.13.3.1956.489-501

Han-U-Domlarpyos, V., Kuchonthara, P., Reubroycharoen, P., & Hinchiranan, N. (2015). Quality improvement of oil palm shell-derived pyrolysis oil via catalytic deoxygenation over NiMoS/γ-Al2O3. *Fuel*, *143*, 512–518. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.11.068

Jin, M., & Choi, M. (2019). Hydrothermal deoxygenation of triglycerides over carbon-supported bimetallic PtRe catalysts without an external hydrogen source. *Molecular Catalysis*, *474*(May), 110419. https://doi.org/10.1016/j.mcat.2019.110419

Kadiman, K. (2006). *Indonesia 2005–2025 Buku Putih*. 1–100.

Kementerian ESDM. (2020). *Rencana strategis Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi 2020–2024*.

Mohd Azhar, S. H., Abdulla, R., Jambo, S. A., Marbawi, H., Gansau, J. A., Mohd Faik, A. A., & Rodrigues, K. F. (2017). Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. *Biochemistry and Biophysics Reports*, *10*(November 2016), 52–61. https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2017.03.003

Mortensen, P. M., Grunwaldt, J. D., Jensen, P. A., Knudsen, K. G., & Jensen, A. D. (2011). A review of catalytic upgrading of bio-oil to engine fuels. *Applied Catalysis A: General*, *407*(1–2), 1–19. https://doi.org/10.1016/j.apcata.2011.08.046

Nugroho, A. P. P., Fitriyanto, D., & Roesyadi, A. (2014). Pembuatan biofuel dari minyak kelapa sawit melalui proses hydrocracking dengan katalis Ni- C-6-2. *Jurnal Teknik Pomits*, *3*(2), 1–7.

Peraturan Presiden Repulik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional. (2017). https://jdih.esdm.go.id/index.php/web/result/1648/detail

Robak, K., & Balcerek, M. (2018). Review of second generation bioethanol production from residual biomass. *Food Technology and Biotechnology*, *56*(2), 174–187. https://doi.org/10.17113/ftb.56.02.18.5428

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Srivastava, A., & Prasad, R. (2000). Triglycerides-based diesel fuels. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, *4*(2), 111–133. https://doi.org/10.1016/S1364-0321(99)00013-1

Tambun, R., Saptawaldi, R. P., Nasution, M. A., & Gusti, O. N. (2016). Pembuatan biofuel dari palm stearin dengan proses perengkahan katalitik menggunakan katalis ZSM-5. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, *11*(1), 46. https://doi.org/10.23955/rkl.v11i1.4902

Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional. (2019). Indonesia energy outlook 2019. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 1689–1699.

Usman, E., Priyambodo, D., Irawan, D., Restuti, A. N., Pujiwati, A., Jati, A. N., Agung PS, P., Sari, S. P., Kurniati, I., Septiyadi, E., Apriari DS, W., Ratnasari, F. D., Ahsol, Y. M., & Hutapea, R. (2020). *Bauran energi nasional*. Dewan Energi Nasional - Sekretariat Jenderal.

Zabed, H., Sahu, J. N., Suely, A., Boyce, A. N., & Faruq, G. (2017). Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *71*(October 2015), 475–501. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.076

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB XI

Waste-To-Energy Solusi Peningkatan Efisiensi Energi

Sindu Daniarta

A. *Waste* di Indonesia

Indonesia merupakan negara kepulauan dan salah satu negara dengan populasi terbesar di dunia. Sudah pasti adanya korelasi terkait banyaknya populasi dengan tingkat konsumsi suatu barang atau sumber daya. Melihat kondisi seperti ini, dapat diartikan bahwa produksi *waste* yang dihasilkan pun juga banyak. *Waste* sering diartikan sebagai limbah atau sampah di masyarakat Indonesia, terlebih lagi sering dianggap sepele atau tidak diperhatikan bagi beberapa orang. Sebenarnya *waste* ini memiliki makna yang beragam, bisa berupa sampah, limbah, kerugian, kemubaziran, dan lain-lain. Manajemen *waste* yang tidak baik merupakan bom waktu dan akan mengakibatkan bencana yang besar di masa yang akan datang.

Dewasa ini, dunia mulai menggerakkan aksi ramah lingkungan, termasuk pembuatan dan pemanfaatan teknologi yang harus seramah mungkin dengan lingkungan, baik itu dari sisi *waste*. Oleh karena itu, muncullah *waste-to-energy* yang merupakan salah satu solusi menjawab masalah terkait manajemen *waste*. Dalam bab ini, akan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

dijelaskan terkait mengapa *waste* itu penting untuk diolah, pola pikir terkait *waste*, dan apa saja *waste-to-energy*. Di akhir bab ini juga akan disinggung mengenai optimisme implementasi *waste-to-energy* di Indonesia.

B. Ekonomi Sirkular dan *Waste*

Pendekatan ekonomi linear merupakan suatu pendekatan sumber daya melimpah, murah, namun dampak lingkungan tidak begitu diperhatikan. Sejumlah perusahaan berlomba-lomba untuk memenuhi permintaan masyarakat dan terkadang masa pakai produk yang dihasilkan masih tergolong rendah. Pendekatan ekonomi yang dibangun seperti ini disebut dengan prinsip *take-make-waste* (Lacy & Rutqvist, 2016). Prinsip *take-make-waste* dideskripsikan sebagai pembuangan sumber daya alam yang sudah digunakan untuk membuat suatu produk, yang sumbernya diambil dari bawah tanah.

Waste yang dimaksud memiliki beragam bentuk dan klasifikasinya, mulai dari yang berbahaya sampai tidak berbahaya. Pada praktiknya, klasifikasi *waste* ini dapat mengandung banyak elemen yang merujuk pada pengelolaannya, baik secara mikro maupun makro. Di Indonesia, sebagian besar menyebut *waste* sebagai limbah yang merupakan bahan berbahaya dan beracun yang dibuang, sisa pada kemasan, tumpahan, atau merupakan sisa proses yang selanjutnya diklasifikasikan ke dalam bentuk limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) atau bukan B3 (Setiyono, 1999). Klasifikasi limbah B3 yang disebutkan tersebut harus memiliki salah satu atau beberapa karakteristik limbah, seperti mudah meledak, mudah terbakar, reaktif, beracun, penyebab iritasi, korosif, dan lolos atau tidak uji toksikologi.

Di negara-negara Tiongkok, Jepang, dan Amerika Serikat klasifikasi *waste* sangatlah beragam, mulai dari pengelompokan berbahaya dan tidak berbahaya, distribusi yang bertanggung jawab, orientasi substansi dan proses, bahkan klasifikasi *waste* di negara-negara Uni Eropa lebih kompleks lagi dengan terdapat beberapa lapisan untuk karakteristiknya (Wen dkk., 2014). Hasil studi dari Wen tersebut

Buku ini tidak diperjualbelikan.

menjelaskan bahwa klasifikasi *waste* di negara-negara Uni Eropa sangat unik, mulai dari hierarkinya dan integrasinya sampai ke level mikro, terlebih lagi pengelompokan terkait proses *treatment*. Proses *treatment* unik yang dimaksud yaitu terkait perolehan kembali energi dari *waste* tersebut, baik dari hasil pembakaran atau bentuk yang lain, dengan tujuan yang masih sama yaitu menghasilkan energi. Jika melihat lebih menyeluruh kembali terkait model klasifikasi dari negara-negara tersebut, sudah sepatutnya Indonesia mengadopsi manajemen dan pengelompokan *waste*.

Dalam sebuah buku disebutkan bahwa *waste* dapat dibedakan dalam empat bentuk, yaitu *wasted resources*, *wasted lifecycles*, *wasted capability*, dan *wasted embedded values* (Lacy & Rutqvist, 2016). *Waste* ini sering kali dianggap sebagai beban, namun coba mengubah pola berpikir bahwa *waste* merupakan sebuah anugerah atau peluang ekonomi besar saat ini yang dapat mencetuskan ide-ide pemecahan masalah dalam pengelolaan maupun pengolahan kembali. Ekonomi sirkular merupakan salah satu jawaban atas persoalan *take-make-waste* yang dihadapi untuk memanfaatkan, mengelola, dan memberikan nilai tambah dari *waste*. Dalam konteks ekonomi sirkular juga bisa disebut dengan *recycle*. Seperti kita ketahui bersama, bahwa pada tahun 2019 Indonesia dengan sekitar 268,07 juta penduduk, laju pertumbuhan penduduknya sebesar 1,31 kali lipat dibanding tahun 2010 (BPS, 2020). Di tahun yang sama, Produk Domestik Bruto (PDB) dan laju pertumbuhan ekonomi berturut-turut sebesar 15.833,9 triliun rupiah dan 5% (BPS, 2020). Pertumbuhan penduduk dan ekonomi ini merupakan pendorong banyaknya permintaan konsumsi sumber daya. Mengingat pertumbuhan penduduk Indonesia yang diproyeksikan akan semakin meningkat dan sumber daya yang tidak lagi melimpah, ekonomi sirkular ini sangat tepat untuk diterapkan di Indonesia. Ekonomi sirkular ini juga perlu meninjau ekosistem seperti apa yang akan dibuat di Indonesia nantinya yang perlu mempertimbangkan aspek-aspek, seperti pertumbuhan sosial-ekonomi, tingkat industrialisasi, iklim, letak geografi, teknologi, dan masih banyak aspek lainnya yang perlu dikaji secara komprehensif.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

C. Etika Lingkungan, Energi Baru Terbarukan, *Recovery, dan Recycling*

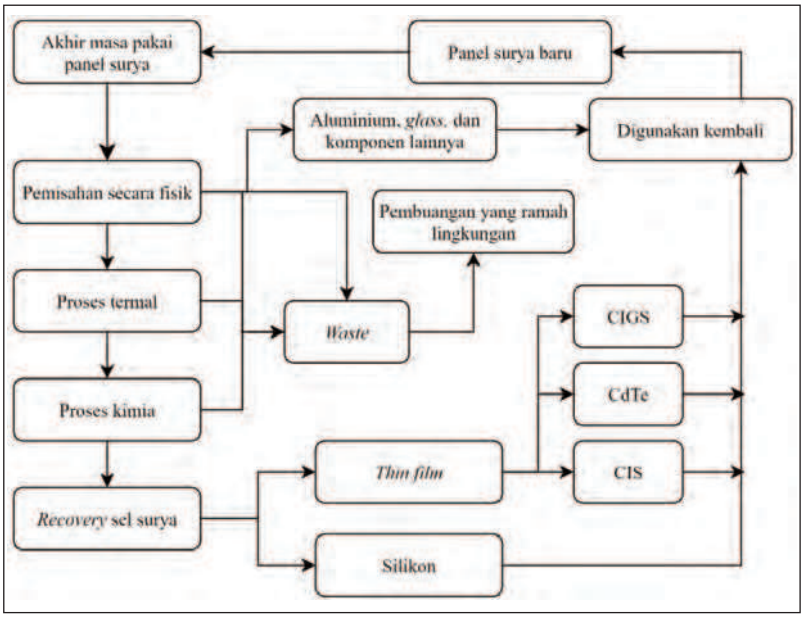
Etika lingkungan adalah disiplin ilmu dalam filsafat yang mempelajari hubungan moral manusia dengan lingkungan dan isinya yang bukan manusia (Brennan & Lo, 2020). Etika lingkungan juga menjadi salah satu pendorong eksistensi energi baru terbarukan yang bertujuan untuk menekan dampak lingkungan (*waste* dan emisi) hasil dari proses industri dan pembangkit listrik tenaga batu bara, minyak, dan gas. Selain itu, etika dan moral ini juga nantinya akan membantu bagaimana mengubah pola pikir kita dalam berinovasi mengembangkan dan memanfaatkan teknologi dengan memperhatikan dampak lingkungan walaupun realisasinya tetap mengarah kepada aspek seekonomis mungkin.

Saat ini, dunia sedang berlomba untuk mengurangi emisi dan *waste* dari suatu proses pengolahan yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Seperti yang diketahui, bahwa *International Energy Agency* (IEA) pada tahun 2020 mengeluarkan *World Energy Outlook* 2020 yang tertuang beberapa skenario atas strategi-strategi untuk menurunkan emisi CO_2. Terdapat empat strategi, yaitu skenario *the state policies* (STEPS), pemulihan tertunda (DRS), pembangunan berkelanjutan (SDS), dan *net zero emission* pada tahun 2050 (IEA, 2020). Empat skenario itu muncul karena adanya ketidakpastian terkait pandemi Covid-19 yang memberikan dampak pada aspek ekonomi, sosial, serta kebijakan untuk energi di masa depan. Berdasarkan empat skenario itu, *net zero emission* merupakan salah satu ambisi terbesar dunia di masa depan. Melihat proyeksi yang demikian, tentu bukan bahasan baru jika ambisi tersebut juga akan mengarahkan ke *net zero waste*. Hal ini merupakan sebuah tantangan besar yang dihadapi saat ini dan di masa yang akan datang.

Energi terbarukan dengan *brand* menghasilkan listrik ramah lingkungan karena menggunakan sumber yang terbarukan dan menghasilkan sedikit atau *zero emission* tetap memiliki pekerjaan rumah yang harus segera dimulai. *Waste* adalah salah satu masalah besar yang ada di sektor energi terbarukan. Panel surya merupakan salah

Buku ini tidak diperjualbelikan.

satu energi terbarukan yang dijelaskan sebagai contoh dalam kasus ini. Seperti yang dilansir *International Renewable Energy Agency* (IRENA), tren produksi listrik dunia menggunakan panel surya mengalami peningkatan sangat pesat dengan kumulatif pembangkitan listrik di dunia sebesar 549.833 *giga watt hours* (GWh) pada tahun 2018 (IRENA, 2020). Hal ini dapat diartikan bahwa produksi dan instalasi panel surya mengalami peningkatan cukup pesat. Peningkatan produksi dan instalasi panel surya ini berkaitan dengan peningkatan jumlah *waste* yang dihasilkan saat produksi dan instalasi. Sebenarnya, hal yang menjadi tantangan terbesar yaitu saat masa penggunaan panel surya ini sudah berakhir, dalam artian sudah tidak bisa dipakai dan menjadi *waste*. *Waste* yang dihasilkan ini sangat berbahaya mengingat panel surya tersusun atas beberapa komponen material. Material logam berat, seperti timbal, timah, kadmium, dan lain-lain merupakan komponen yang mendominasi dalam panel surya yang dapat



Sumber: Chowdhury dkk. (2020)

Gambar 11.1 Skema Proses *Recycle* Panel Surya

Buku ini tidak diperjualbelikan.

mencemari lingkungan dan mengancam kesehatan manusia (Xu dkk., 2018). Jika manajemen terkait *waste* ini tidak segera dipikirkan dengan matang, hanya tinggal menunggu waktu saja sejumlah negara ASEAN yang menjadi target pasar panel surya akan merasakan dampak *waste* berbahaya ini dan Indonesia adalah salah satunya.

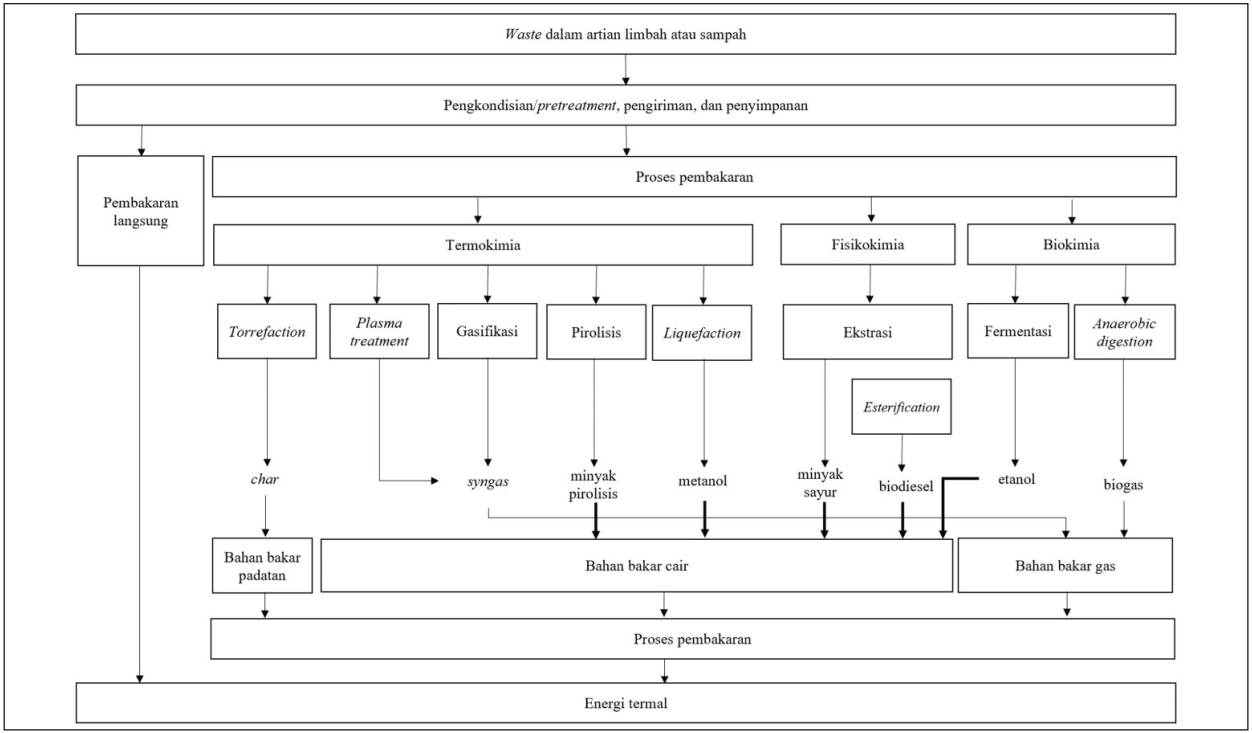
Recycle dan *recovery* merupakan skema yang tepat untuk menjawab manajemen *waste* tersebut. Beberapa negara maju, seperti Jepang, Uni Eropa, dan Amerika Serikat mulai fokus untuk melakukan riset dan pengembangan *recycle* dan *recovery* bagian-bagian penting pada panel surya yang melibatkan proses fisika, kimia, dan termal (Chowdhury dkk., 2020). Proses fisika merupakan proses pemisahan panel surya dengan kerangka aluminium serta kotak penyimpanan dan kabel, sedangkan proses kimia dan termal merupakan proses *recover* sel surya menggunakan tungku dengan suhu tinggi. Untuk lebih jelas skema *recycle* dan *recovery* yang melibatkan proses fisika, kimia, dan termal ini dapat dilihat pada Gambar 11.1.

Skema yang terlihat pada Gambar 11.1 menjelaskan bagaimana alur dari panel surya setelah habis masa pakainya, namun beberapa komponen masih bisa dimanfaatkan dengan baik. Proses *recycle* dan *recovery* ini merupakan pilar ekonomi sirkular seperti yang terlihat dengan memanfaatkan dan mengolah kembali barang yang sudah habis masa pakainya seperti panel surya. Paradigma seperti ini diharapkan dapat diimplementasikan dengan baik di Indonesia, baik dari segi penyusunan kebijakan maupun secara praktik lapangan.

D. Teknologi *Waste-To-Energy*

Waste mempunyai arti yang sangat luas dan bisa diterjemahkan sebagai limbah, pemborosan, kerugian, kemubaziran, dan lain-lain. *Waste-to-energy* atau produksi energi dari *waste* erat hubungannya dengan limbah di mata masyarakat Indonesia pada umumnya sehingga yang sering terpikirkan yaitu pembakaran dari limbah atau yang lebih dikenal dengan sampah untuk memproduksi energi. Hal ini memang benar bahwa dengan membakar sampah sangatlah efektif untuk mendapatkan sumber energi. Beberapa proses untuk mendapatkan energi dengan pembakaran sampah dapat dilihat pada Gambar 11.2.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: BPSDM PU (2018)

Gambar 11.2 Pembangkitan Energi dari Limbah atau Sampah

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Pada dasarnya, *waste-to-energy* dari pembakaran sampah ini prinsipnya hampir sama dengan pembangkit listrik tenaga batu bara, hanya saja kalori yang dihasilkan lebih rendah. Selain itu, sampah yang digunakan sebagai sumber pembakaran juga lebih terbatas. Seperti yang kita ketahui bersama, proses pembakaran bahan bakar gas jauh lebih *eco-friendly* dibanding dengan bahan bakar berbentuk padatan. Hal ini disebabkan reaksi pembakaran dengan bahan bakar gas akan habis dan hanya menghasilkan gas emisi, berbeda dengan bahan bakar dengan bentuk padatan yang tidak hanya menghasilkan gas emisi, namun juga limbah padatan yang berupa abu. Abu ini bisa berbentuk endapan (*bottom ash*) dan abu terbang (*flying ash*). Inilah kenapa pembakaran sampah masih menjadi persoalan besar, belum lagi aroma yang dihasilkan dari pembakaran tersebut karena seperti yang kita ketahui bahwa sampah akan menghasilkan senyawa baru ketika dicampur.

Waste-to-energy yang lain yaitu dapat memilah dan mengumpulkan limbah untuk dijadikan biogas. Sudah pasti dengan metode ini limbah organik cocok digunakan sebagai biogas. Pada prinsipnya, pengolahan *waste-to-energy* dalam bentuk biogas ini mengubah sumber bahan bakar padatan menjadi gas (dalam arti gas metana yang dihasilkan dari limbah dengan bantuan bakteri). Kemudian, operasi kerja untuk menghasilkan energi (dalam arti listrik) masih sama, yaitu dengan membakar biogas tersebut. Biogas ini cenderung lebih ramah lingkungan karena melalui langkah penguraian yang cukup memakan waktu. Selain itu, luaran yang dihasilkan juga tidak hanya biogas, namun limbah padatan yang bisa digunakan untuk pemupukan.

Tidak hanya biogas saja, namun limbah-limbah organik seperti limbah hasil perkebunan pun bisa dimanfaatkan kembali untuk diubah menjadi bahan bakar nabati (*biofuel*). Untuk lebih jelasnya terkait bahan bakar nabati, bisa dibaca di bab sebelumnya pada buku ini.

Pembakaran sampah, biogas, dan bahan bakar nabati adalah beberapa upaya dari pengelolaan kembali *waste-to-energy*. Lalu, bagaimana dengan *waste* dalam artian pemborosan, kerugian, dan kemubaziran? Biasanya pemborosan, kerugian, dan kemubaziran ini bisa didapatkan dengan melihat karakteristik termal yang ada di

Buku ini tidak diperjualbelikan.

kawasan industri, pabrik, dan bahkan perumahan. Beberapa industri bekerja dengan menggunakan sistem termal, seperti industri gelas, baja, pertambangan, manufaktur, dan lain-lain. Panas yang terbuang pada sistem industri ini biasanya dilepas ke lingkungan. Hal ini umum dinamakan panas pemborosan, panas rugi, atau panas kemubaziran (*waste heat*) (Jouhara dkk., 2018). Ada banyak teknologi yang dapat memanfaatkan kembali *waste heat* ini untuk memproduksi energi listrik dengan daya menengah. Beberapa teknologi di antaranya, yaitu sistem Kalina, siklus Rankine organik, *trilateral flash*, dan lain-lain. Secara sistem, siklus Rankine organik ini lebih menjanjikan dengan sistem lebih sederhana dan dapat digunakan untuk memproduksi listrik dengan kalori rendah. Sistem dalam siklus sederhana Rankine organik ini menggunakan material organik sebagai media transfernya dan membutuhkan empat komponen, yaitu evaporator, ekspansi/turbin yang dikombinasikan dengan generator, kondensator, dan pompa (Daniarta & Imre, 2020). Siklus ini diterapkan pada sumber panas yang terbatas seperti suhu sekitar atau kurang dari 250°C. Pembangkitan listrik yang dihasilkan pun bervariasi hingga sampai lebih dari satu Megawatt (MW).

Waste heat tak hanya berarti panas saja, sumber dingin yang terbuang pun juga dapat digolongkan sebagai *waste heat*. Energi dingin atau *cold energy* merupakan sebuah energi potensial yang dapat dianalogikan sebagai sistem baterai. Energi dingin ini dapat ditemukan pada sistem-sistem pendinginan atau *refrigeration*. Selain itu, juga dapat ditemukan pada proses *liquefaction* pada sistem gas alam yang biasa dikenal sebagai *liquefied natural gas* (LNG). Dalam artikel ilmiah, terdapat 26 novel terminal LNG yang energi dinginnya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik sebesar 320 MW dengan menerapkan siklus Rankine organik yang di dalam bahasannya juga terdapat Indonesia (Daniarta & Imre, 2020). Dalam artikel tersebut disebutkan bahwa dengan memanfaatkan energi dinginnya saja di terminal Cimalaya-Jawa 1 dapat menghasilkan potensi listrik sebesar 8.17 MW (masih dalam kondisi ideal).

Sistem-sistem yang dijelaskan sebelumnya merupakan sistem yang memanfaatkan panas terbuang, rugi, atau kemubaziran, yang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

jika dilihat bersama efisiensi dari suatu sistem industri, akan meningkat jika paradigma *waste-to-energy* ini diterapkan. Analogi ini dapat digambarkan pada sistem *exergy* yang melihat masukan dan keluaran yang dihasilkan.

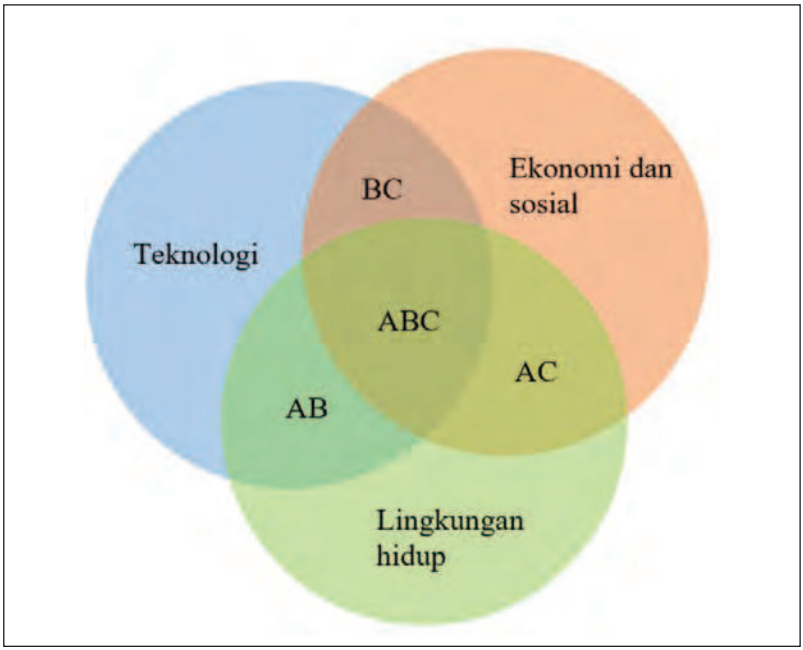
Pada tahun 2019, kapasitas terpasang pembangkit bioenergi yang terdiri dari pembangkit listrik berbasis biomasa, biogas, sampah kota, dan bahan bakar nabati sebesar 1.890 MW (Kementerian ESDM, 2021). Dalam Rencana Strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tersebut menjelaskan beberapa upaya pemerintah untuk pengembangan bioenergi, melalui percepatan investasi, skema pendanaan, pemberian insentif, penyederhanaan perizinan, penyiapan regulasi, penyediaan infrastruktur, penyesuaian model bisnis, dan perencanaan kebijakan.

E. Optimisme Implementasi *Waste-to-Energy* di Indonesia

Saat ini, dunia sedang bergerak dan bersama untuk meningkatkan efisiensi dan berusaha semaksimal mungkin menggalakkan program *zero waste*. Hal ini tentu sangat menarik dan perlu dikaji lebih dalam lagi bagaimana cara mewujudkan dan menyukseskan program tersebut. Saat ini, energi merupakan pertimbangan utama dalam diskusi pembangunan berkelanjutan yang mengharuskan ketersediaan pasokan sumber energi yang bersih dan terjangkau secara berkelanjutan dan tidak menimbulkan dampak negatif pada masyarakat. Hal ini tertuang pada S*ustainable Development Goals* (SDGs) pada tujuan tujuh. Banyak tantangan dalam upaya pemenuhan sumber energi bersih dan terjangkau. Seperti kita ketahui, bahwa tantangan ini dipengaruhi oleh beberapa aspek, seperti laju pertumbuhan penduduk, pertumbuhan sosial ekonomi, tingkat industrialisasi, iklim, letak geografi, sumber daya alam, letak geografi, dan sumber daya alam.

Berkaitan dengan *waste-to-energy* ini, tiga elemen penting harus dipertimbangkan dalam penerapannya, yaitu aspek teknologi, lingkungan hidup, sosial, dan ekonomi seperti yang terlihat pada Gambar 11.3. Untuk irisan AB, jika pertimbangan hanya berdasarkan pada

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Gambar 11.3 Hubungan Teknologi, Lingkungan Hidup, Ekonomi dan Sosial untuk Penerapan *Waste-to-Energy*

lingkungan hidup dan teknologi, otomatis efisien dan ramah lingkungan, namun nilai yang perlu diinvestasikan cukup mahal, baik itu dari sisi finansial maupun keterampilan. Irisan AC menjelaskan bahwa ada kemungkinan teknologi yang digunakan tidak efisien, sedangkan untuk irisan BC mengindikasi dampak lingkungan yang dihasilkan cenderung lebih tinggi. Ketiga elemen ini harus dipertimbangkan dengan matang sehingga irisan antara ketiga elemen ini (ABC) menjadi dasar untuk penerapan *waste-to-energy* di Indonesia.

Aspek yang tergabung dalam irisan tiga elemen teknologi, lingkungan hidup, sosial dan ekonomi dapat diartikan sebagai rekomendasi untuk optimisme pemanfaatan *waste-to-energy.* Pemerintah dan masyarakat diharapkan berperan aktif membangun dan membentuk karakter sumber daya manusia yang lebih unggul untuk mempersiapkan cendekiawan yang dapat memberikan solusi atas

Buku ini tidak diperjualbelikan.

suatu permasalahan dan tantangan yang ada. Dalam hal ini, sedini mungkin pemerintah mengajak masyarakat menerapkan paradigma penting seperti ekonomi sirkular. Tentunya dengan pola berpikir seperti ini, masyarakat jadi mengetahui urgensi melakukan *recycle* dan *recovery* karena sering kali elemen ini hanya cenderung dikaitkan dengan lingkungan saja, padahal maksud dan tujuannya lebih besar lagi yaitu menciptakan nilai tambah atau baru dengan memanfaatkan sumber yang ada, seperti halnya *waste heat*, biogas, bahan bakar nabati, dan limbah.

Undang-undang dan kebijakan yang berkaitan dengan energi dan lingkungan hidup harus segera dirumuskan, pasalnya undang-undang dan kebijakan inilah yang akan menjadi acuan dalam praktiknya nanti. Manajemen *waste* dan klasifikasinya juga perlu dipertimbangkan dalam kasus ini karena seperti kita ketahui, masih banyak potensi yang dapat dimanfaatkan kembali dari *waste*. Jika klasifikasi atau pengelompokan masih terlalu umum, tentu ada kekhawatiran potensi yang bisa dimanfaatkan justru malah terbuang percuma. Manajemen *waste* dalam praktiknya juga harus diintegrasikan di kehidupan nyata, artinya masyarakat juga harus sadar dan mulai mengklasifikasikan sendiri mana sampah organik, kertas, gelas, plastik, elektronik, dan material seperti metal. Idealnya, mengklasifikasi jenis sampah ini memang mudah, namun praktiknya sangat susah. Untuk mewujudkannya, penanaman pola pikir ini sejatinya harus dimulai sejak dini, artinya generasi muda harus kita ajak belajar terkait manajemen *waste*. Sosialisasi juga perlu dilakukan sampai ke tingkat komunitas-komunitas dan rukun tetangga. Pada intinya, pemilahan sampah dari masyarakat ini akan sangat membantu untuk meminimalkan proses pengkondisian atau *pre-treatment* pada proses *waste-to-energy*. Dengan demikian, proses pengelolaan *waste-to-energy* akan semakin lebih sederhana lagi. Memang hal ini bukan sesuatu yang mudah yang dapat dilakukan selama satu tahun, tetapi jika tidak mulai dari sekarang, bagaimana kondisi Indonesia di tahun 2045 nanti?

Selain itu, kebijakan terkait harga jual listrik dari *waste-to-energy* maupun dari energi terbarukan juga harus dirumuskan sekompetitif

Buku ini tidak diperjualbelikan.

mungkin dengan harga jual listrik dari pembangkit listrik tenaga batu bara, minyak, dan gas. Tarif listrik dan ekosistem terkait *waste-to-energy* penting untuk segera dirumuskan demi memberikan angin segar terhadap investasi jangka panjang pada sektor energi dan manajemen *waste* ini.

Terkait teknologi, sudah dijelaskan bagaimana pemanfaatan *waste-to-energy* pada subbab sebelumnya yang perlu memperhatikan kategori dari *waste* tersebut. Sebenarnya, masih banyak lagi potensi yang dapat dikaji untuk kasus di Indonesia, contohnya limbah biomassa hasil dari pertanian dan perkebunan, seperti sekam padi, batang padi, serabut kelapa, batang jagung, dan lain-lain. Limbah-limbah ini sepanjang tahun ada dan ada juga yang musiman. Jika pengelolaannya bagus, baik itu dari masyarakat dan komunitas-komunitas pertanian maupun perkebunan, potensi tersebut juga dapat dimanfaatkan sebagai *waste-to-energy.* Teknologi tak hanya yang canggih saja, namun bagaimana membuat teknologi yang ramah untuk digunakan, yang berbasis *empowerment* masyarakat. Teknologi-teknologi inilah yang diharapkan nantinya dapat diimplementasikan, bukan teknologi yang dapat berjalan 2–3 tahun dan setelah itu tidak bisa dipakai lagi karena tidak ramah dalam pengoperasian maupun pemeliharaannya.

Infrastruktur dan jaringan listrik terkait *waste-to-energy* ini harus mulai dipertimbangkan mulai sekarang, mengingat Indonesia merupakan negara kepulauan sehingga akan susah jika semua pulau dialiri listrik dengan satu jaringan listrik saja. Perlu adanya pertimbangan dan pengkajian secara komprehensif dalam pembangunan infrastruktur yang terintegrasi dan dapat dipastikan keberlanjutannya. Kaitannya dengan hal ini, perlu juga diperhatikan mengenai kondisi geografis, iklim, dan potensi sumber daya yang ada di sekitar. Potensi sumber daya yang ada ini dapat diartikan *waste-to-energy* yang juga berpotensi untuk diterapkan dalam sistem hibrida dengan panel surya, turbin angin, mikrohidro, panas bumi, pasang surut air laut, dan lain-lain. Selain itu, pemerintah juga perlu berupaya untuk membuat riset strategis yang berkolaborasi dengan institusi, baik nasional maupun

Buku ini tidak diperjualbelikan.

internasional, serta membangun sumber daya manusia unggul di bidang *waste-to-energy* untuk peningkatan efisiensi energi di Indonesia.

REFERENSI

Badan Pusat Statistik (BPS). (2020). Statistik Indonesia 2020.

BPSDM PU. (2018). *Modul teknologi WtE termal non-insinerasi (gasifikasi)*. http://bpsdm.pu.go.id/center/pelatihan/uploads/edok/2019/04/a6a40_8._Modul_Gasifikasi.pdf

Brennan, Andrew, & Lo, Y. S. (2020). Environmental ethics. Dalam Edward N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 202). Metaphysics Research Lab Stanford University. https://plato.stanford.edu/archives/win2020/entries/ethics-environmental/

Chowdhury, M. S., Rahman, K. S., Chowdhury, T., Nuthammachot, N., Techato, K., Akhtaruzzaman, M., Tiong, S. K., Sopian, K., & Amin, N. (2020). An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling. *Energy Strategy Reviews*. https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100431

Daniarta, S., & Imre, A. R. (2020). Cold energy utilization in LNG regasification system using organic rankine cycle and trilateral flash cycle. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. https://doi.org/10.3311/PPme.16668

IEA. (2020). *World energy outlook 2020*. https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020

IRENA. (2020). *Trends in renewable energy*. https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series diakses pada 20 Januari 2021

Jouhara, H., Khordehgah, N., Almahmoud, S., Delpech, B., Chauhan, A., & Tassou, S. A. (2018). Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress*. https://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.04.017

Kementerian ESDM. (2021). *Rencana strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral 2020–2024*. https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-rencana-strategis-kesdm-2020-2024.pdf

Lacy, P., & Rutqvist, J. (2016). Waste to wealth: The circular economy advantage. *Waste to Wealth: The Circular Economy Advantage*. https://doi.org/10.1057/9781137530707

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Setiyono. (1999). *Sistem pengelolaan limbah B-3 di Indonesia* (1st ed.). Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.

Wen, X., Luo, Q., Hu, H., Wang, N., Chen, Y., Jin, J., Hao, Y., Xu, G., Li, F., & Fang, W. (2014). Comparison research on waste classification between China and the EU, Japan, and the USA. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. https://doi.org/10.1007/s10163-013-0190-1

Xu, Y., Li, J., Tan, Q., Peters, A. L., & Yang, C. (2018). Global status of recycling waste solar panels: A review. *Waste Management*. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.036

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB XII
Pengembangan Baterai Terhadap Kemandirian dan Ketahanan Pengelolaan Energi di Indonesia

Reyhan Puji Putranto

A. Kondisi Energi Indonesia

Perkembangan kebutuhan energi telah menjadi bagian penting dan menempati posisi kebutuhan primer bagi kehidupan manusia. Sistem transportasi, informasi, dan komunikasi melekat di era revolusi industri 4.0 yang bersaing mencapai publikasi inovasi dengan mengedepankan teknologi dan jaringan media internet. Sistem tersebut sangat bergantung pada alat elektronik dan pasokan listrik dalam pengoperasiannya. *Sustainable Development Goals* (SDGs) tujuan tujuh mencantumkan komitmen dalam pemberian kepastian terhadap keterjangkauan, keandalan, kesinambungan, dan modernisasi energi (IEA dkk., 2020). Berdasarkan produk pedoman Kebijakan Energi Nasional (KEN) Indonesia, tumpuan dalam memanfaatkan energi dan ketersediaannya terdiri atas empat sisi, yaitu keterjangkauan biaya (*affordability*), ketersediaan kuantitas dan kualitas (*availability*), kemudahan memperoleh akses (*accessibility*), serta penerimaan jenis sumber energi tertentu oleh seluruh lapisan masyarakat (*acceptability*) (Usman dkk., 2020). Oleh sebab itu, Indonesia harus mempersiapkan

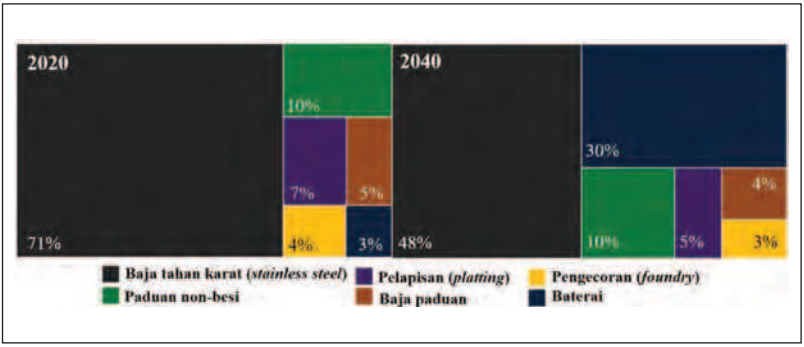
Buku ini tidak diperjualbelikan.

perbekalan berdasarkan data statistik demografi, kuantitas barang konsumsi, kualitas produksi, serta faktor teknis dan nonteknis sehingga melahirkan strategi kebijakan yang selaras dengan dinamika bauran energi secara nasional maupun internasional.

Permasalahan pelayanan kelistrikan tertanam Indonesia tidak terlepas dari pengaruh kualitas infrastuktur dan interaksi lingkungan dalam hal ketahanan terhadap peristiwa kebencanaan. Pemadaman listrik akibat cuaca buruk yang menyebabkan gangguan pada saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 kV wilayah Bekasi-Priok-Cawang terjadi pada awal November 2020 (Pratama, 2020). Menanggapi hal tersebut, masyarakat diimbau mengakses situs peta Pelita, tetapi metode ini bersifat informatif dan tidak merefleksikan kondisi pemerataan serta kestabilan akses internet masyarakat. Solusi penggunaan genset diesel masih menjadi cara termudah, namun berdampak buruk terhadap gas pembakaran dan polusi suara yang dihasilkan ke lingkungan sekitar. Berdasarkan realita tersebut, penyelesaian sektor hilir membutuhkan metode lain melalui reformasi preventif elektrifikasi di sektor wilayah hulu untuk jangka panjang melalui pemanfaatan sistem dan teknologi penyimpanan energi.

Selain fakta jaringan kelistrikan stasioner nasional, Indonesia berambisi meningkatkan reputasinya dengan berkonsentrasi pada potensi sumber daya alam logam nikel dan pasar kendaraan listrik dunia. Kemudian, pemerintah mengeluarkan kebijakan pelarangan ekspor bijih nikel mentah dimulai Januari 2020 melalui Kementerian ESDM yang mendorong hilirisasi nikel dengan pembangunan *smelter* (Izzaty & Suhartono, 2020). Hal ini beriringan dengan peningkatan status negara berpendapatan menengah ke atas (*upper-middle income*) dan peningkatan posisi mitra dagang dan kepercayaan investor. Data yang disajikan dalam Gambar 12.1 menunjukkan pemanfaatan nikel masih didominasi penggunaan dalam manufaktur baja tahan karat dan paduan nonbesi. Pada 2040, proyeksi optimis permintaan nikel bermuara pada peningkatan produksi baterai sebagai komoditas internasional. Hal ini juga mengisyaratkan pengelolaan sumber daya alam (SDA) yang mumpuni dan teknologi maju dalam prosesnya beserta sumber daya manusia (SDM) unggul.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Kementerian ESDM (2020)

Gambar 12.1 Permintaan Global Logam Nikel Tahun 2020 dan Prediksi 2040

Persoalan kendaraan listrik dunia tidak terlepas dari perbincangan perekonomian yang mengerucut pada upaya penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) dan suhu bumi secara global terhadap prioritas kebutuhan energi bersih, terbarukan, dan berkelanjutan. Salah satu upaya yang dilakukan adalah pembentukan industri baterai dan kendaraan listrik. Indonesia akan membentuk perusahaan *holding* atas Badan Usaha Milik Negara (BUMN). Perusahaan tersebut adalah PT Aneka Tambang Tbk (ANTM), PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), PT Pertamina (Persero), dan PT Indonesia Asahan Aluminium (Persero) yang selanjutnya disebut MIND ID. Proses hulu manufaktur dilimpahkan pada PT Antam Tbk dan MIND ID, sedangkan PT Pertamina dan PT PLN memegang sektor hilir (Idris, 2021). Perusahaan mitra yang akan menjadi partner dalam kegiatan manufaktur baterai dan kendaraan listrik tersebut adalah Tesla Inc., Panasonic, Samsung SDI, LG Chem, Contemporary Amperex technology Co. Ltd., BYD Auto Co. Ltd., dan Farasis Energy Inc (Meilanova, 2021). Pemaparan tersebut menggambarkan urgensi investasi sistem penyimpanan energi Indonesia jangka panjang.

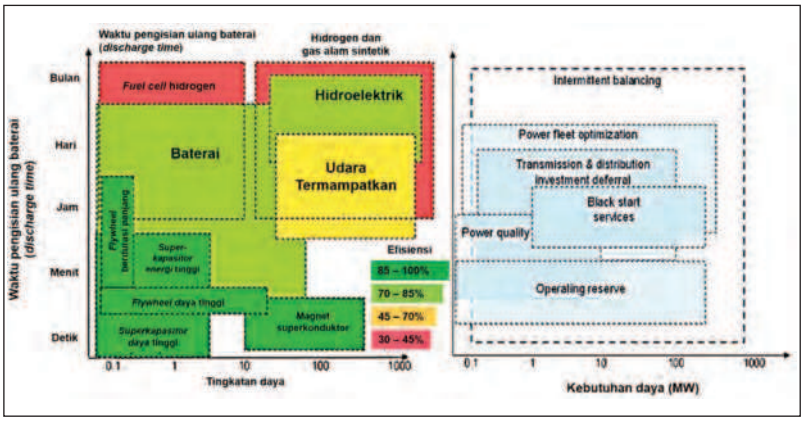
B. Sistem Penyimpanan Energi dan Baterai

Secara umum, sistem penyimpanan energi diklasifikasikan menjadi lima, yaitu kimiawi, elektrokimiawi, elektrisitas, mekanik, dan termal.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Sistem penyimpanan energi secara mekanik adalah hidroelektrik (*Pump Hydro Energy* Storage/PHES), *flywheel*, dan udara termampatkan (*Compressed Air Energy* Storage/CAES) dengan menggerakkan baling-baling turbin sehingga menghasilkan energi potensial dari momen inersia baling-baling. Sistem berbasis kimiawi yaitu sel berbahan bakar (*fuel cell*) hidrogen, gas hidrogen, dan gas alam sintetik yang menghasilkan energi listrik melalui reaksi kimia. Penyimpanan energi listrik yang mengacu pada elektrisitas yaitu superkapasitor dan superkonduktor (*Superconducting Magnetic Energy Storage*/SMES) dengan memanfaatkan medan magnet, sedangkan penyimpanan energi berdasarkan temperatur seperti garam alumina-silika menyimpan panas akibat perubahan wujud dari zat padat menjadi lelehan. Pembahasan ini mengacu pada baterai yang termasuk sistem penyimpanan energi berbasis elektrokimiawi.

Sistem penyimpanan energi yang digambarkan pada Gambar 12.2 menunjukkan baterai mempunyai jangkauan yang luas terhadap tingkatan daya dan waktu pengisian ulang sesuai dengan parameter penggunaannya dengan efisiensi 70–85%. Secara praktis, aplikasi baterai dalam jaringan stasioner dimanfaatkan dengan pengendalian kualitas daya listrik (*power quality*), manajemen investasi transmisi



Sumber: Aneke dan Wang (2016)

Gambar 12.2 Variasi Sistem Penyimpanan Energi (kiri) dan Parameter Penggunaan (kanan) Terhadap Tingkat Daya Listrik serta Waktu Pengisian Ulang Baterai

Buku ini tidak diperjualbelikan.

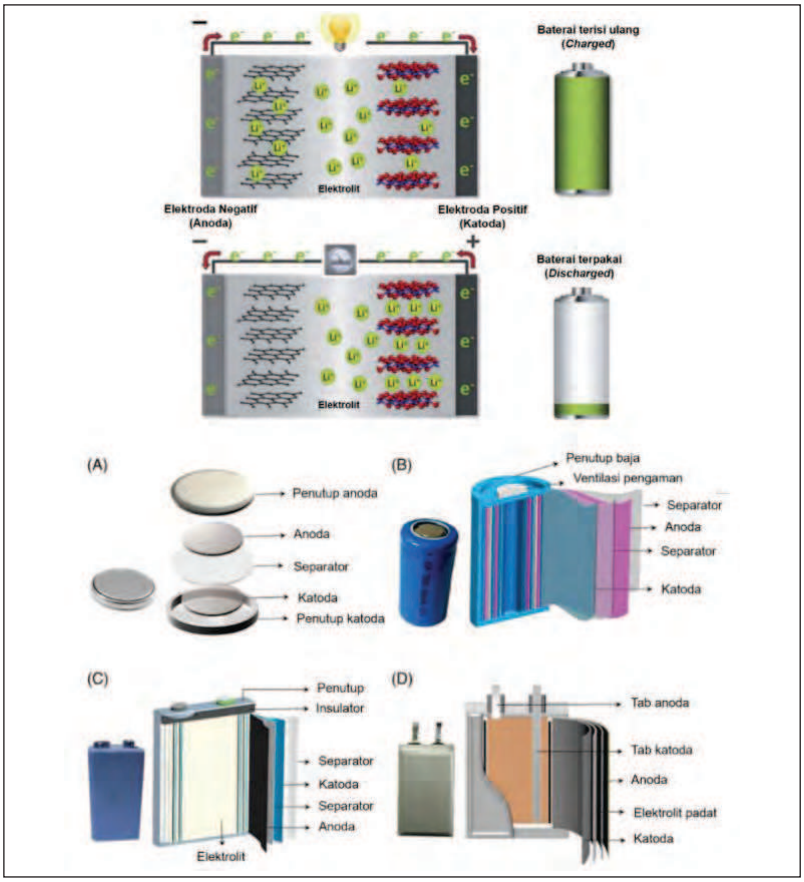
dan distribusi jaringan (*transmission and distribution investment defferal*), optimalisasi infrastruktur dan antisipasi pemadaman (*power fleet optimization*), cadangan cepat (*operating reserve*), layanan prapemulihan (*black start services*), serta sistem penyeimbang frekuensi dan daya listrik (*intermittent balancing*).

Sistem penyimpanan listrik melalui baterai ini juga ditentukan berdasarkan aspek ekonomis dan penempatan lahan di lingkungan sehingga menjadi barang yang dapat diperbaharui dan digunakan kembali. Selain itu, kapasitas penyimpanan listrik bergantung pada jenis material, ukuran, dan susunan rangkaiannya sehingga lebih fleksibel.

Baterai tersusun atas tiga komponen utama, yaitu elektroda positif, elektroda negatif, elektrolit seperti ditunjukkan pada Gambar 12.3 yang disertai ilustrasi cara kerja dan jenis baterai berdasarkan aplikasinya. Baterai koin (A) digunakan pada jam tangan, sedangkan baterai berbentuk tabung yang ditunjukkan (B) sering dijumpai dalam alat elektronik dengan salah satu sisinya terdapat tonjolan. Baterai berbentuk prismatik (C) digunakan dalam skala besar maupun kendaraan listrik yang dapat disatukan tersusun menjadi kubus dan baterai berbentuk *pouch* (D) yang dijumpai pada gawai. Faktor penentuan kualitas baterai sehingga mencapai tahap komersialisasi adalah spesifik kapasitas terhadap volume, spesifik kapasitas terhadap massa, kecepatan pengisian ulang baterai, jumlah siklus pemakaian, stabilitas pengisian ulang baterai, kedalaman pengisian ulang, dan kondisi fisis pemberian muatan listrik seperti suhu maupun kelembapan.

Saat ini, perkembangan material baterai adalah baterai ion litium sekunder yang dapat diisi ulang (*rechargeable*) dengan fokus pada material elektroda positif atau disebut katoda. Material baterai ion litium hingga saat ini adalah material *nickel-cobalt-manganese* atau disebut NCM, lainnya adalah $LiCoO_2$ (LCO), $LiMn_2O_4$ (LMO), $LiFePO_4$ (LFP), Li_2TiO_3 (LTO), dan *nickel-cobalt-alumunium* NCA ($LiNiCoAlO_2$). Baterai NCM didasarkan pada rasio logam dengan rumus kimia $LiNi_xMn_yCo_zO_2$ (Burkhardt dkk., 2019). Perkembangan industri baterai terkini telah dipasarkan NCM111, NCM532, NCM622, dan NCM811.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Thackeray dkk. (2012); Liang dkk. (2019)

Gambar 12.3 Ilustrasi Penggunaan Daya Listrik (*charge*) Pengisian Ulang (*discharge*) Baterai dan Jenis Bentuk Baterai

C. Keberhasilan Baterai di Berbagai Negara

Secara umum, fasilitas ini bertujuan sebagai sistem pendukung, seperti respon frekuensi dan dukungan tegangan listrik, cadangan daya listrik, mengokohkan daya energi terbarukan, sumber listrik yang dapat diandalkan menuju jaringan yang terisolasi, serta penopang peningkatan infrastruktur transmisi dan distribusi. Implementasi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

baterai sebagai jaminan sistem penyimpanan energi yang terdapat di berbagai belahan dunia dijabarkan singkat berdasarkan kluster Eropa, Asia, Amerika Serikat, dan Australia.

Jerman mempunyai proyek *STEAG GmbH* di enam titik jaringan 10 kV yang menyediakan cadangan daya primer berkala setiap 30 menit masing-masing dengan kapasitas 15 MW/20 MAh. Italia memiliki pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dengan baterai natrium-sulfur dari *Terna* untuk menyimpan daya listrik berlebih ketika permintaan melampaui pasokan sebagai pengendalian beban daya dan potensial listrik (IRENA, 2019). Australia memanfaatkan baterai litium ion *Tesla* 100 MW/129 MWh untuk menyediakan cadangan listrik menuju daerah tak terjangkau dan layanan penopang terhadap wilayah jaringan Australia selatan di *Hornsdale Wind Farm* (Climate Council of Australia, 2018).

Di wilayah Angola, Afrika, *AllCell* menyediakan 200 Watt/1300 Wh baterai NCA yang berintegrasi dengan PLTS. Penggunaan sistem ini bertujuan menerangi sekolah yang jauh dari sumber listrik. *NEC Energy Solutions* bertempat di Maui, Hawaii, Amerika Serikat menggunakan $LiFePO_4$ (LFP) berkapasitas 11 MW/4300 kWh untuk meningkatkan kestabilan laju pemasukan dan pengeluaran daya listrik (*ramp rate*) pada PLTB 21 MW (IRENA, 2015).

Di benua Asia, negara yang telah menggunakan sistem ini, di antaranya Tiongkok, Qatar, dan Jepang. *Prudent Energy* menyuplai *China's Wind Power Research and Testing Centre* di wilayah Zhangbei dengan 500 kW/1 MWh baterai alir vanadium redoks yang terpusat pada 78 MW kapasitas PLTB dan 640 kW PLTS. Wilayah Doha menyediakan jaringan kelistrikan baterai terintegrasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan layanan cadangan oleh BYD Company Ltd. Perusahaan ini menyediakan baterai $LiFePO_4$ (LFP) kepada *Qatar Science and Technology Park* dengan 500 kW/500 kWh. Secara teknis, penempatan sistem ini ditentukan dengan kelembapan lingkungan 5–95% dan ketinggian tidak lebih dari 2 km. Wilayah Rokkasho, Prefektur Aomori, Jepang, NGK Insulators mengakomodasi PLTB dengan menyediakan pasokan listrik berkala terhadap fluktuasi dan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tabel 12.1 Daftar Produk Kendaraan Listrik dengan Jenis Baterai dan Perusahaan Tempat Produksi Baterai (*Original Equipment Manufacturer*/OEM) pada 2019

Produk	Jenis Baterai	OEM
Chevrolet Bolt	NCM622	LG Chem
BMW i3 (60Ah)	NCM523 + NCA	Samsung SDI
Tesla Model 3	NCA	Panasonic
Kia Niro	NCM811 + NCM111	SK innovation
Greatwall ORA iQ	NCM622	Farasis
Hyundai Kona EV	NCM622	LG Chem (Umicore)
BAIC EU5 (53,6 kWh)	NCM523	CATL
Nissan Leaf (62 kWh)	NCM622	AESC
BYD E5 (2019)	NCM523	BYD
JAC IEVS4 (61 kWh)	NCM622	Lishen

Sumber: Nicoll dan Boss (2019)

cadangan daya listrik sebesar 34 MW/204 MWh yang terhubung dengan 51 MW PLTB di Jepang bagian utara (IRENA, 2019).

Perkembangan pasar kendaraan listrik dunia terdapat pada Tabel 12.1 yang menjadi dasar bahwa pertambangan logam nikel sangat penting bagi Indonesia. Data tersebut dapat menjadi pertimbangan pemilihan mitra investasi yang sesuai dengan pasar domestik dan lingkup negara *Association of South-East Asian Nation* (ASEAN) serta skala internasional.

Data tersebut menggambarkan mayoritas baterai menggunakan material katoda dengan komposisi nikel yang lebih banyak yaitu NCM523 (50% nikel) dan NCM 622 (60% nikel). Peluang ini harus dimanfaatkan dengan memperhatikan kontrol cadangan sumber daya alam, proses teknis pengolahan bahan mentah menjadi produk setengah jadi, persentase pembiayaan operasional yang transparan, realisasi target produksi yang wajar mengimbangi jumlah permintaan, dan eksplorasi titik penambangan lain yang potensial.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

D. Perkembangan Baterai

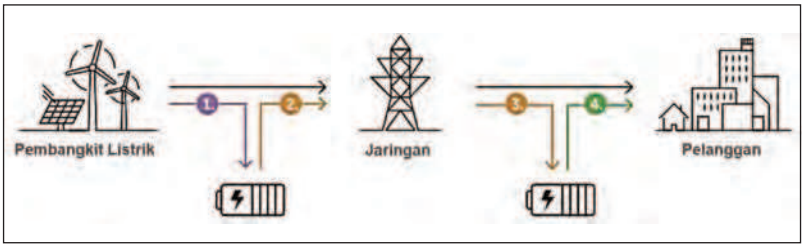
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti) telah merumuskan prioritas riset nasional 2020–2024 dengan salah satu fokus riset energi yang berjudul "Baterai Lithium untuk Penyimpanan Energi dan *Charging Station*" (Kemenristekdikti, 2020). Lembaga yang berperan dalam fokus riset energi ini adalah Universitas Negeri Sebelas Maret (UNS), PT Pertamina (Persero), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Badan Standarisasi Nasional (BSN), PT LEN Industri, serta Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T). Program tersebut terbagi menjadi enam cabang topik sebagai berikut:

1. Pengembangan dan produksi sel, modul, dan *pack*;
2. Pengembangan dan produksi material aktif, elektrolit, dan *coating* untuk mendukung baterai litium;
3. Pengembangan dan ekstraksi mineral sumber daya alam (SDA) sebagai bahan kimia untuk mendukung pembuatan material aktif baterai litium;
4. Baterai *testing* untuk sel, modul, dan *pack*;
5. Monitoring sistem, *safety*, dan komunikasi;
6. Sistem *fast charging station* untuk kendaraan bermotor listrik.

Target pencapaian pada tahun 2024 adalah pemenuhan produksi sel baterai untuk jaringan stasioner 100% dan kendaraan listrik 75% dengan teknologi pengisian ulang listrik atau *fast charging* yang handal buatan dalam negeri.

Skema *Virtual Power Lines* (VPLs) yang ditunjukkan pada Gambar 12.4 adalah gambaran sederhana perbaikan kualitas jaringan kelistrikan stasioner di Indonesia. Proses ini berjalan dengan cara pengisian daya baterai dari pembangkit listrik ketika permintaan rendah (poin 1 dan 3) dan baterai yang menopang pasokan saat produksi pembangkit listrik rendah (poin 2 dan 4). Selain itu, tegangan listrik saat ditransimisikan dapat distabilkan dengan baterai. Gangguan

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: IRENA (2020)

Gambar 12.4 Konsep *Virtual Power Lines* (VPLs)

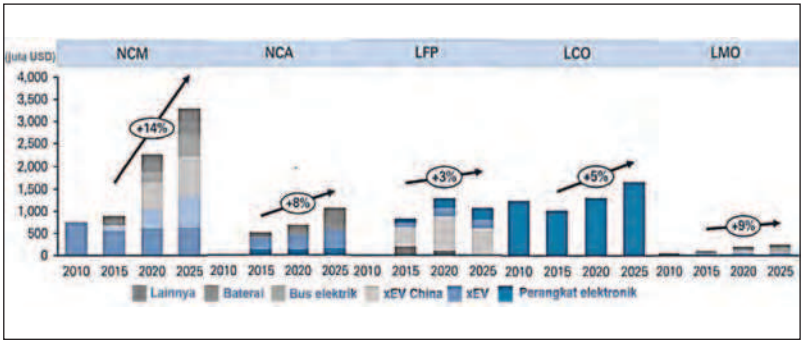
kelistrikan yang disebabkan pemeliharaan infrastruktur dapat diselesaikan tanpa dilakukan pemadaman sehingga keberlanjutan aktivitas membangun perekonomian semakin terjaga. Jaringan kelistrikan berpotensi terjadi hambatan ketika komponen penghubung mencapai batas maksimum tahanan termal pada kabel transmisi. Upaya penanggulangan peningkatan transmisi membutuhkan waktu beberapa tahun sehingga berdampak terhadap dinamika pola permintaan dan penyediaan daya listrik di lapangan. Keberadaan jaringan penyimpanan energi listrik skala besar dari pihak PT PLN maupun skala kecil yang dapat digunakan oleh masing-masing rumah dapat menjadi solusi berkelanjutan sebagai investasi masa depan.

Pembentukan empat perusahaan *holding* BUMN sektor pertambangan yang akan berpartisipasi dalam pasokan bahan baku baterai bertujuan meningkatkan skala bisnis, diversifikasi produk dan bisnis, serta perbaikan solvabilitas maupun likuiditas sehingga efisiensi pembiayaan dapat tercapai. Partisipasi perusahaan swasta internasional yang ditentukan pemerintah diharapkan membawa teknologi maju dan pelatihan pengelolaan pertambangan yang baik sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sarana pembelajaran melalui tahap mengadopsi, menganalisa, dan aktualisasi.

Berdasarkan Gambar 12.5, grafik tersebut menunjukkan proyeksi material baterai dengan dominasi peningkatan NMC 14% dan nilai transaksi yang tinggi terkait dengan aspek biaya modal produksi dan densitas daya material NMC. Selain itu, material LCO fokus pada

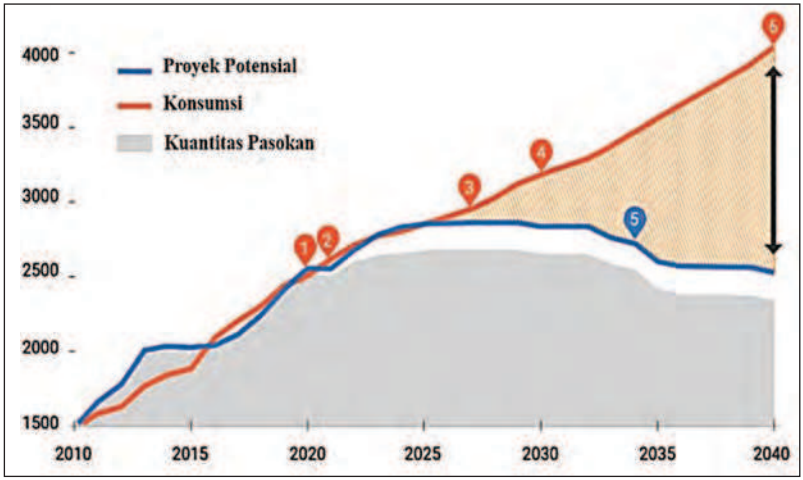
Buku ini tidak diperjualbelikan.

aplikasi perangkat elektronik yang mengarah pada keamanan dan densitas energi terbaik, namun kurang dalam densitas daya listrik besar. Biaya modal mengacu pada harga bahan baku nikel yang lebih murah dibandingkan kobalt. Perkembangan material LFP cenderung menurun pada 2025 yang disebabkan karena katoda polianionik ini tergantikan oleh $LiFeBO_3$ (LFB), $Li_3V_2(PO_4)_3$ (LVP), maupun material lainnya yang serupa.



Sumber: Baes dkk. (2018)

Gambar 12.5 Perkembangan Komoditas Produk Berbasis Sistem Baterai



Sumber: Kementerian ESDM (2020)

Gambar 12.6 Kelimpahan Sumber Daya Nikel Indonesia Tahun 2010–2040

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Pelarangan ekspor nikel Indonesia pada awal 2020 (1) yang ditunjukkan pada Gambar 12.6 disusul perencanaan kebutuhan pasokan pabrik kimia sebesar 115.000 ton nikel dengan proyek pendirian *smelter* baru *High-Pressure Acid Leaching* (HPAL) (2) sebagai langkah peningkatan proses pengolahan dan pemurnian. Peningkatan permintaan pasokan bahan baku baterai (3) pada 2027 dan secara linier (4) diprediksikan sebesar ~230 ribu ton nikel pada 2030. Produksi menurun (5) disebabkan oleh produksi 200.000 ton nikel sejak 2029–2034 dan berakhir pada permintaan nikel yang mencapai 1,4 juta ton pada 2040 sehingga menjadi tidak berimbang dengan cadangan sumber daya alam (6). Oleh karena itu, proses daur ulang komponen baterai disarankan bersamaan dengan penelitian pembaharuan material baterai serta eksplorasi cadangan sumber daya alam logam lainnya.

Pada Desember 2020 silam, BASF dan Eramet telah menandatangani kerja sama dalam pemurnian nikel dan kobalt menggunakan metode *High Pressure Acid Leaching* (HPAL) dan *Base Metal Refinery* (BMR) (Warkentin, 2020). Dalam jumpa pers tersebut, teluk Weda telah diakuisisi oleh Eramet dan proses HPAL akan berada di teluk Weda untuk menghasilkan produk pertengahan *intermediate* nikel dan kobalt. Sumber daya alam logam nikel di dunia bersumber dari bijih laterit, termasuk Indonesia di bagian Sulawesi dan Maluku. Bijih laterit terdiri atas *saprolite*, *limonite*, dan *nontronite* yang keberadaannya berada dekat dengan permukaan tanah (Stopic & Friedrich, 2016). Dalam proses hidrometalurgi, terdapat tiga metode berbeda, yaitu *tank leaching*, *heap leaching,* dan *high-pressure acid leaching* (HPAL). Berdasarkan perbandingan terhadap metode lainnya, HPAL ini membutuhkan listrik dan biaya operasional yang rendah, namun biaya modal yang tinggi. Ciri khas dari HPAL adalah penggunaan asam kuat, seperti asam sulfat (H_2SO_4), asam nitrat (HNO_3), maupun asam klorida (HCl). Pengelolaan limbah larutan asam kuat ini menjadi hal serius karena dapat merusak lingkungan perairan maupun tanah.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

E. Rekomendasi Penggunaan Baterai dalam Peningkatan Kelistrikan Indonesia

Peningkatan kualitas jaringan kelistrikan stasioner Indonesia dapat memanfaatkan *virtual power lines* (VPLs) dengan pemanfaatan koneksi internet atau dikenal dengan *internet of thing* (IoT) serta kecerdasan buatan atau *artificial intelligence* (AI) sehingga pemantauan dilakukan secara berkelanjutan. Pasar material baterai dengan sumber daya alam nikel Indonesia menjadikan potensi penelitian dan pengembangan produk dengan target pasar internasional maupun distribusi domestik. Tidak hanya berbuah peningkatan perekonomian nasional, namun diikuti juga dengan perekonomian daerah dalam mengurangi tingkat pengangguran jika memberdayakan penduduk sekitar melalui program *corporate social responsibility* (CSR).

Pencapaian efektifitas perencanaan utilisasi baterai di Indonesia dapat melalui pendataan penggunaan listrik setiap satuan waktu jam terhadap masing-masing provinsi. Selain itu, statistik sensus penduduk disertai jenis beban listrik yang ditentukan setiap bangunan juga sangat dibutuhkan. Hal tersebut menjadi dasar pertimbangan pemilihan material baterai yang sesuai serta ukuran jaringan yang akan dibangun oleh pihak penanggung jawab distribusi listrik di wilayah tersebut. Dukungan data simulasi komputasional menentukan titik transmisi, distribusi populasi masyarakat, dan visualisasi sistem informasi geografis (*Geographic Information System* GIS) seperti ketinggian permukaan, curah hujan, dan sebagainya. Koordinasi terkait pemeliharaan dan adanya teknisi ahli untuk mengintegrasikan kendali melalui daring dengan teknologi distribusi dan transmisi pasokan listrik di lapangan. Sosialisasi terhadap masyarakat diperlukan dalam rangka edukasi melalui lisan serta meningkatkan kualitas literasi dan visualisasi.

Industri baterai Indonesia akan menggandeng calon mitra yang ditentukan berdasarkan rekam jejak industri serta kendaraan listrik, investasi dan finansial, ekspansi pemasaran, reputasi nama produk, dan kualitas koneksi partner tempat produksi peralatan asli atau disebut OEM di berbagai negara. Proses penambangan, peleburan,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

pengolahan mineral, sintesis katoda, produksi, penyimpanan sel, dan paket baterai adalah beberapa perihal sektor hulu, sedangkan sarana infrastruktur pengisian daya, stasiun pengisian kendaraan listrik umum (SPKLU), dan stasiun penukaran baterai kendaraan listrik umum (SPBKLU) diambil alih wilayah hilir. Kerja sama perguruan tinggi, lembaga pemerintah, serta industri dalam pengembangan material baterai yang saling membutuhkan sehingga sinkronisasi kebijakan berlangsung realistis.

Pertimbangan potensi pendirian kawasan manufaktur baterai di Indonesia berbasis baterai litium ion dan sumber daya nikel berpegang pada dampak lingkungan dan perekonomian masyarakat. Berdasarkan data *International Energy Agency* (IEA), diprediksikan jumlah kendaraan listrik yang beroperasi pada 2030 mencapai 140 juta unit dengan tidak lebih dari 5% baterai litium ion yang dapat didaur ulang hingga saat ini. Selain itu, sebanyak 30% hingga 40% komponen baterai berasal dari bagian katoda dan proyeksi nilai pasar baterai litium mencapai 70 miliar USD pada 2022. Hal tersebut menjadi peluang tambahan perekonomian yang dikenal sebagai *circular economy*. Perolehan kembali nikel dari baterai habis pakai membutuhkan proses dan biaya yang tidak sedikit, namun berdampak pada pengurangan kerusakan lingkungan dan pemberian waktu eksplorasi sumber daya alam lainnya.

REFERENSI

Aneke, M., & Wang, M. (2016). Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review. *Applied Energy*, *179*, 350–377. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.097

Baes, K., Carlot, F., Ito, Y., Kolk, M., & Merhaba, A. (2018). *Future of batteries*. Arthur D. Little. https://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/adl_future_of_batteries-min.pdf

Burkhardt, S., Friedrich, M. S., Eckhardt, J. K., Wagner, A. C., Bohn, N., Binder, J. R., Chen, L., Elm, M. T., Janek, J., & Klar, P. J. (2019). Charge transport in single NCM cathode active material particles for lithium-ion batteries studied under well-defined contact conditions. *ACS Energy Letters*, *4*(9), 2117–2123. https://doi.org/10.1021/acsenergylett.9b01579

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Climate Council of Australia. (2018). *Fully charged: Renewables and storage powering Australia*. https://www.climatecouncil.org.au/wp-content/uploads/2018/03/Fully-Charged-Renewables-and-Storage-Powering-Australia.pdf

Idris, M. (2021). Holding BUMN baterai listrik akan terbentuk semester pertama 2021. *Kompas.com*. https://money.kompas.com/read/2021/02/03/235700726/holding-bumn-baterai-listrik-akan-terbentuk-semester-pertama-2021?page=all#page2.

IEA, IRENA, UNSD, World Bank, & WHO. (2020). *Tracking SDG 7: The energy progress report*. World Bank. https://trackingsdg7.esmap.org/

IRENA. (2015). *Case studies: Battery storage*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_Battery_Storage_case_studies_2015.pdf

IRENA. (2019). *Utility-scale batteries: Innovation landscape brief*. 7. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Utility-scale-batteries_2019.pdf

IRENA. (2020). *Virtual power lines - Innovation landscape brief*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Virtual_power_lines_2020.pdf

Izzaty, & Suhartono. (2020). Kebijakan percepatan larangan ekspor ORE nikel dan upaya hilirisasi nikel. *Info Singkat, XI*(23), 19–24. http://berkas.dpr.go.id/puslit/files/info_singkat/Info Singkat-XI-23-I-P3DI-Desember-2019-221.pdf

Kemenristekdikti. (2020). Prioritas riset nasional 2020–2024. *Fokus Riset Energi*, *February 2019*, 1–13.

Kementerian ESDM. (2020). *Peluang investasi nikel Indonesia*. https://www.esdm.go.id/id/booklet/booklet-tambang-nikel-2020

Liang, Y., Zhao, C., Yuan, H., Chen, Y., Zhang, W., Huang, J., Yu, D., Liu, Y., Titirici, M., Chueh, Y., Yu, H., & Zhang, Q. (2019). A review of rechargeable batteries for portable electronic devices. *InfoMat*, *1*(1), 6–32. https://doi.org/10.1002/inf2.12000

Meilanova, D. R. (2021). 7 perusahaan ini dilirik untuk bermitra dengan Indonesia Battery Holding. *Bisnis.com*. https://ekonomi.bisnis.com/read/20210201/44/1350806/7-perusahaan-ini-dilirik-untuk-bermitra-dengan-indonesia-battery-holding

Nicoll, G., & Boss, M. J. (2019). Electrical components KR EV battery 2020: Momentum to rebuild. *CGS-CIMB*, 1–115. https://doi.org/10.1201/b17574

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Pratama, K. R. (2020). Pantau informasi mati lampu hari ini di Jakarta dan sekitarnya di situs Ini. *Kompas.com*. https://tekno.kompas.com/read/2020/11/01/13493557/pantau-informasi-mati-lampu-hari-ini-di-jakarta-dan-sekitarnya-di-situs-ini?page=all

Stopic, S., & Friedrich, B. (2016). Hydrometallurgical processing of nickel lateritic ores. *Vojnotehnicki Glasnik*, *64*(4), 1033–1047. https://doi.org/10.5937/vojtehg64-10592

Thackeray, M. M., Wolverton, C., & Isaacs, E. D. (2012). Electrical energy storage for transportation - Approaching the limits of, and going beyond, lithium-ion batteries. *Energy and Environmental Science*, *5*(7), 7854–7863. https://doi.org/10.1039/c2ee21892e

Usman, E., Priyambodo, D., Irawan, D., Restuti, A. N., Pujiwati, A., Jati, A. N., Agung PS, P., Sari, S. P., Kurniati, I., Septiyadi, E., Apriari DS, W., Ratnasari, F. D., Ahsol, Y. M., & Hutapea, R. (2020). *Bauran energi nasional*. Dewan Energi Nasional - Sekretariat Jenderal.

Warkentin, P. (2020). *Press Release: BASF and Eramet partner to assess the development of a nickel-cobalt refining complex to supply growing electric vehicle market*. https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2020/12/p-20-388.html

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB XIII

Teknologi *Power-to-Gas* Sebagai Sarana Penyimpanan Energi Selain Baterai

Adam Pramana Fitrah

A. Urgensi Gagasan Sistem Tenaga Listrik

Dengan perkembangan zaman yang semakin mengarah ke arah dunia digital, tentu kebutuhan energi listrik untuk menyuplai daya akan semakin meningkat. Ketergantungan akan energi listrik ini tidak hanya dirasakan oleh perkantoran atau industri, melainkan juga dibutuhkan oleh rumah tangga dan beban listriknya lainnya. Oleh karena konsumsi listrik yang banyak dan melibatkan hajat banyak orang, peran negara dibutuhkan untuk mengatur penggunaan energi listrik secara nasional. Dalam hal ini, Perusahaan Listrik Negara (PLN) menjadi badan usaha milik negara yang diamanahi untuk melakukan koordinasi dan regulasi mengenai penyaluran energi listrik dari sisi pembangkitan hingga sisi konsumen, yang juga meliputi transmisi dan distribusi listrik.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Sistem yang menghubungkan produsen dan konsumen listrik ini disebut dengan sistem tenaga listrik. Dalam praktiknya, pendistribusian energi listrik ini tidaklah semudah hanya dengan mengalirkan daya listrik dari pembangkit ke beban listrik, tetapi ada berbagai hal yang harus diperhatikan dalam pendistribusian daya listrik, seperti kestabilan sistem listrik. Jika sebuah sistem tenaga listrik tidaklah stabil, sistem tersebut dapat mengalami gangguan atau bahkan gagal bekerja dalam mendistribusikan listrik. Jika gangguan pada sistem listrik tersebut terjadi berulang kali atau terjadi dalam periode yang cukup lama, hal tersebut dapat menyebabkan peralatan listrik yang terhubung dengannya menjadi rusak.

Gangguan pada sistem tenaga listrik sebenarnya bukanlah hal yang asing terjadi. Sering kali dijumpai kondisi pemadaman listrik yang datang tanpa pemberitahuan sebelumnya. Hal ini dapat terjadi oleh banyak faktor, seperti pembangkit listrik yang tidak dapat merespons kebutuhan beban listrik yang naik dengan tiba-tiba atau terjadinya gangguan, seperti hubung singkat, pada saluran transmisi, dan banyak lagi lainnya. Salah satu contohnya adalah kondisi mati lampu total di sebagian pulau Jawa pada tahun 2019. Hal tersebut terjadi karena adanya gangguan yang terjadi di saluran transmisi yang menghubungkan bagian barat dan timur pulau Jawa. Padahal, jika melihat kapasitas pembangkit yang berada di sistem kelistrikan Jawa–Bali, pembangkit listrik tersebut dapat memenuhi kebetuhan beban yang ada. Akan tetapi, keadaan ini tidak dapat menjawab permasalahan bila saluran listrik yang terhubung terputus karena adanya gangguan. Salah satu hal yang menyebabkan ini terjadi adalah letak pembangkit yang tidak terdistribusi secara merata dengan beban listrik yang ada. Masih banyak lagi permasalahan atau macam-macam gangguan yang mungkin terjadi pada suatu sistem ketenagalistrikan, akan tetapi hal tersebut tidak akan dibahas dalam topik ini.

Untuk mengurangi permasalahan yang dapat timbul dalam sistem tenaga listrik dan tetap menjaga penyaluran listrik yang secara kontinu, muncullah gagasan untuk memecah sistem tenaga listrik tersebut menjadi subsistem yang lebih kecil lagi. Di dalam sistem

Buku ini tidak diperjualbelikan.

yang kecil ini sudah terdapat pembangkit, saluran distribusi, serta beban listrik. Setiap sistem kelistrikan ini juga dapat dihubungkan satu dengan yang lainnya, akan tetapi masing-masing sistem juga dapat memisahkan diri dari sistem kelistrikan yang lebih besar bila terdapat gangguan di sistem tersebut dan masih dapat menyuplai daya ke beban yang ada di dalam sistem. Hal ini mungkin terjadi karena setiap sistem memiliki pembangkit lokalnya masing-masing yang dapat memenuhi kebutuhan listrik di dalamnya.

Pemenuhan energi listrik didapatkan dengan cara mengubah energi yang tersedia di alam bebas menjadi energi listrik yang kemudian dapat disalurkan kepada konsumen. Sumber energi listrik ini terdiri atas berbagai macam jenis energi yang dapat dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu energi konvensional dan energi baru terbarukan (EBT). Sumber energi konvensional ini mencakup minyak bumi dan batu bara, sedangkan EBT dapat berasal dari sinar matahari, angin, air, panas bumi, dan lainnya.

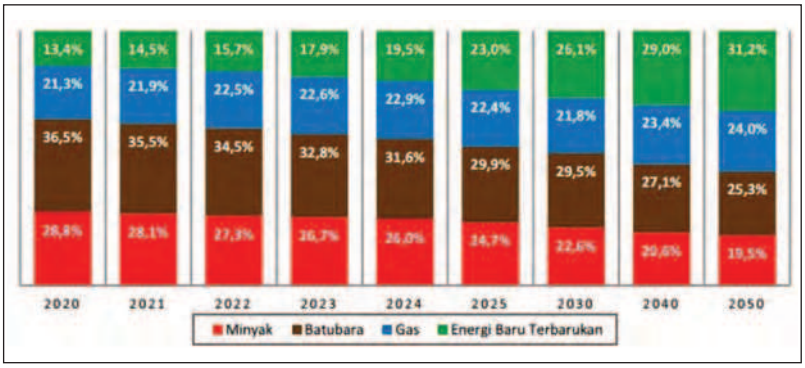
Sampai saat ini, energi listrik di Indonesia masih didominasi oleh energi yang berasal dari pembangkit listrik konvensional (PT PLN, 2019). Masih dari sumber yang sama, dikatakan bahwa hingga akhir Oktober 2018, pembangkit listrik yang mendominasi di Indonesia adalah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) batu bara dengan persentase persebarannya sebesar 49%, sedangkan pembangkit listrik yang menggunakan EBT hanya memiliki persentase sekitar 10%.

Akan tetapi, penggunaan pembangkit listrik konvensional, termasuk batu bara, memiliki dampak negatif pada lingkungan sekitarnya. Pembangkit listrik ini mencemari lingkungan dari limbah yang dihasilkan yang dapat mencemari air, meningkatkan kadar gas beracun di udara, dan juga dapat meningkatkan pemanasan global (UCSUSA, 2019). Dampak yang lebih besar adalah dapat mengganggu kesehatan masyarakat sekitarnya, seperti kanker paru-paru (Lin dkk., 2019; Oberschelp dkk., 2019).

Pemerintah Republik Indonesia pun menetapkan kebijakan untuk mengurangi penggunaan energi konvensional dan meningkatkan penggunaan EBT. Hal ini direalisasikan melalui peraturan pemerintah

Buku ini tidak diperjualbelikan.

nomor 79 tahun 2014 pada pasal 9 yang menyatakan bahwa peran EBT pada tahun 2025 paling sedikit sebesar 23% dan mencapai 31% pada tahun 2050 (PP No. 79, 2014). Untuk penjelasan yang lebih mendetail, dapat dilihat pada buku bauran energi yang menyatakan sebagai berikut.



Sumber: Usman dkk. (2020)

Gambar 13.1 Target Bauran Energi Primer Tahun 2020–2050

Akan tetapi, penggunaan EBT juga dapat menimbulkan masalah baru pada suatu sistem kelistrikan. Penggunaan EBT di dalam suatu sistem dapat menimbulkan permasalahan kestabilan sistem tenaga listrik karena karakteristik EBT yang tak menentu akibat cuaca yang berubah-ubah (Čonka dkk., 2014). Salah satu contohnya adalah apabila area pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) tertutupi oleh awan, keluaran daya yang dihasilkan oleh PLTS tersebut akan berkurang dan dapat menyebabkan ketidakstabilan pada sistem. Dalam kondisi ekstrem, hal tersebut dapat menyebabkan aliran daya menuju konsumen terputus.

Hal tersebut tentulah tidak diinginkan untuk terjadi. Salah satu solusinya adalah dengan mengimplementasikan penggunaan baterai atau penyimpan energi. Penggunaan teknologi ini dapat membantu mengurangi permasalahan kekurangan daya yang terjadi untuk rentang waktu tertentu. Teknologi baterai untuk pengimplementasian

Buku ini tidak diperjualbelikan.

dalam sistem ketenagalistrikan ini pun terdapat berbagai macam jenisnya, seperti *Lead-acid*, *Li-ion*, *VRLA*, dan banyak lagi lainnya dengan karakteristik dan keunggulannya masing-masing (Divya & Østergaard, 2009). Akan tetapi, penggunaaan baterai sebagai cadangan energi hanya dapat menyuplai daya listrik dalam waktu yang terbilang cukup singkat (disimpan pada siang hari lalu digunakan kembali pada malam harinya) (Cohn, 2018). Dalam sumber tersebut, dikatakan bahwa jika energi yang disimpan dalam baterai untuk jangka waktu yang lebih lama (skala waktu mingguan hingga bulanan), efisiensi energi tersebut akan berkurang. Selain itu, berbicara mengenai karakteristik baterai, seperti umur yang tidak menentu, ketergantungan pada suhu lingkungan, dan mudah mengalami degradasi, membuat baterai tidaklah cocok untuk digunakan sebagai penyimpanan energi jangka panjang (Kharel & Shabani, 2018).

Oleh karena itu, sarana lain sebagai penyimpanan energi selain baterai dan dapat menyimpan energi tersebut dalam waktu yang lama adalah teknologi *power-to-gas (PtG)*. Teknologi ini mengonversikan energi listrik yang telah dibangkitkan menjadi bentuk energi lain, yaitu gas, yang dapat berupa hidrogen dan juga metana.

B. Skema *Power-to-Gas* (PtG)

Dengan tujuan untuk meningkatkan penggunan EBT, penggunaan penyimpanan energi tentu akan semakin krusial. Salah satunya adalah dengan menggunakan teknologi PtG. Teknologi PtG ini merupakan teknologi yang masih tergolong baru, tetapi dapat menjadi salah satu solusi dalam menghadapi tantangan atau permasalahan energi di masa depan dengan proporsi penggunaan EBT semakin tinggi daripada saat ini karena dapat menyimpan energi dalam jangka waktu yang cukup lama. Dalam pengimplementasian teknologi PtG, beberapa komponen dibutuhkan di dalamnya, seperti elektroliser, perangkat proses metanasi, sumber CO_2, dan fasilitas penyimpanan (Mazza dkk., 2018).

Teknologi PtG beroperasi menggunakan listrik yang telah ada, lalu dengan proses elektrolisis melalui media berupa air, akan didapatkan

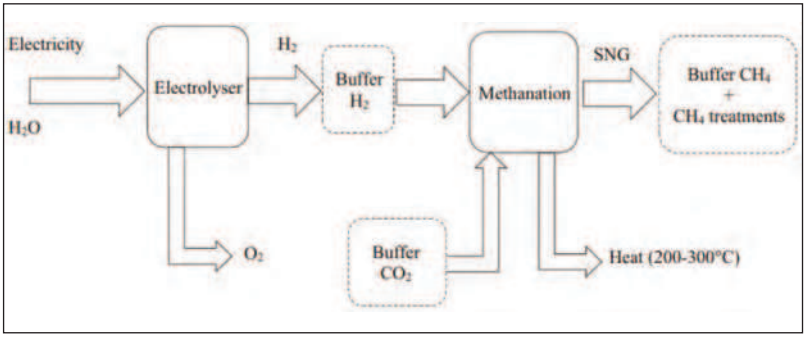
Buku ini tidak diperjualbelikan.

hasil akhir berupa hidrogen dan oksigen. Apabila hidrogen tersebut dicampur dengan karbon dioksida, hasil akhir yang didapatkan adalah berupa panas dan metana. Gas metana dan hidrogen yang dihasilkan ini disimpan dalam sebuah sistem penyimpanan yang kemudian dapat digunakan sesuai kebutuhan masing-masing. Ilustrasi dari pengimplementasian teknologi PtG ini ditunjukkan pada Gambar 13.2.

Dalam proses elektrolisis, teknologi yang digunakan dapat beragam, seperti *alkaline electrolysers*, *proton exchange membrane* atau *polymer electrolyte membrane* (PEM) *electrolysers*, dan *solid oxide electrolysis* (Mazza dkk., 2018). Pembahasan mendalam mengenai teknologi yang digunakan pada proses ini tidak akan dijabarkan karena tidak relevan dengan topik utama bahasan bab ini.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, untuk mendapatkan gas metana, hidrogen yang dihasilkan pada proses sebelumnya akan dicampur dengan karbon dioksida. Dalam pengimplementasian proses ini, terdapat berbagai macam metode yang dapat digunakan, yaitu *post-combustion*, *pre-combustion*, dan *oxyfuel combustion*. Penggunaan karbon dioksida dalam rantai reaksi untuk menghasilkan gas metana menghasilkan reduksi pada emisi karbon dioksida di udara (Vandewalle dkk., 2015).

Gas hasil akhir yang dihasilkan (hidrogen dan metana) dapat digunakan untuk memenuhi berbagai macam kebutuhan masyarakat



Sumber: Mazza dkk. (2018)

Gambar 13.2 Skema Implementasi PtG Secara Umum

Buku ini tidak diperjualbelikan.

pada umumnya, seperti transportasi, atau digunakan kembali untuk pemenuhan kebutuhan listrik pada suatu saat mendatang (Pellow dkk., 2015).

Penerapan teknologi PtG ini cukup penting untuk diimplementasikan di masa mendatang karena kebutuhan gas akan meningkat dan juga dapat membantu mengurangi emisi karbon dioksida. Hal ini juga dapat mendukung target pemerintah Indonesia untuk mengurangi emisi karbon dioksida hingga 29% pada tahun 2030. Akan tetapi, sampai bulan Desember 2018, Indonesia belum memiliki *draft* yang mendetail mengenai kebijakan energi untuk hidrogen. Walaupun begitu, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) bersama dengan Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation (Toshiba ESS) telah mencapai kesepakatan berupa *Memorandum of Understanding* (MoU) pada Agustus 2018 untuk pengimplementasian energi terbarukan berbasis hidrogen pada sistem energi hidrogen otonom *off-grid* (Kimura & Li, 2019). Harapannya, dengan adanya kerja sama ini, dapat membuka peluang pasar komoditas hidrogen di Indonesia untuk dapat berkembang dan tentunya mengurangi emisi karbon dioksida dan masalah lainnya di Indonesia.

Masih dalam sumber yang sama, proyeksi potensi kebutuhan hidrogen di Indonesia pada tahun 2040 adalah yang terbesar di ASEAN. Komoditas hidrogen tersebut dapat digunakan untuk pemenuhan kebutuhan berbagai sektor usaha, seperti pembangkit listrik, kebutuhan panas di industri, dan juga transportasi. Proyeksi kebutuhan hidrogen pada tahun 2040 di Indonesia dikatakan dapat mencapai 11.1 *million tons of oil equivalent* (Mtoe) dengan sektor usaha yang mendominasi penggunaan energi hidrogen adalah transportasi dan pembangkit listrik.

Kembali kepada pengimplementasian teknologi PtG, dalam sektor usaha energi listrik, teknologi ini dapat diintegrasikan pada beragam sistem ketenagalistrikan, baik sistem *on-grid* maupun *off-grid*. Akan tetapi, terdapat halangan lainnya dalam pengimplementasian teknologi ini dan cukup mendasar yaitu masalah efisiensi. Efisiensi dari teknologi PtG ini hanya sebesar 33% jika mengonsiderasi kon-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

versi energi listrik menjadi gas lalu dikonversikan kembali menjadi listrik. Hal ini diakibatkan adanya energi yang terbuang dalam bentuk panas saat proses elektrolisis. Selain itu, dalam penyimpanan energi juga terdapat energi yang terbuang sehingga ketika mengonversikan kembali gas menuju listrik, tidak seluruh energi tersebut dapat dikonversikan kembali menjadi energi listrik. Oleh sebab itulah, efisiensi total PtG yang digunakan kembali untuk pemenuhan listrik di lain waktu menjadi sangat rendah (33%) (Ajanovic & Haas, 2019).

Pengintegrasian teknologi PtG ke dalam suatu sistem memiliki beberapa keuntungan (Lewandowska-Bernat & Desideri, 2018). Pertama, penggunaan PtG sebagai tempat penyimpanan energi membuka kesempatan untuk penetrasi pembangkit listrik EBT ke suatu jaringan listrik dengan jumlah yang lebih banyak dari sebelumnya. Seperti yang telah diketahui, EBT adalah energi yang tidak dapat dikontrol sesuai dengan kemauan sendiri melainkan bergantung pada keadaan cuaca. Adakalanya pembangkit listrik EBT dapat menghasilkan listrik lebih besar dari keadaan normalnya, kelebihan energi yang dihasilkan dapat disimpan pada PtG yang kemudian dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan yang ada. Bila suatu saat kebutuhan beban listrik meningkat secara tiba-tiba, energi yang tersimpan pada PtG dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik pada saat itu. Hal ini merupakan keuntungan lainnya dalam penggunaan teknologi PtG yaitu menjaga kestabilan sistem tenaga listrik. Hal lainnya yang dapat menjadi sisi positif dari penggunaan teknologi ini adalah kontribusinya dalam mengurangi target emisi serta membuat sektor usaha industri dan transportasi yang lebih berkelanjutan. Energi hidrogen dikatakan memiliki potensi untuk menjadi bahan bakar dalam transportasi karena efesiensi yang sangat tinggi pada kendaraan *fuel cell*. Oleh karena itu, hidrogen dipercaya dapat bersaing dengan minyak untuk menjadi bahan bakar (Schiebahn dkk., 2015)

Akan tetapi, di balik gemerlap segala keuntungan yang dapat diraih dengan penggunaan teknologi PtG, bukan berarti teknologi ini tidak memiliki kekurangan. Hal utama yang perlu diperhatikan dalam pengimplementasian teknologi ini adalah biaya yang mahal pada

Buku ini tidak diperjualbelikan.

komponen yang digunakan, terutama pada komponen elektroliser; biaya perawatan yang tinggi; serta limitasi akibat karakteristik dari gas hidrogen yang dapat dengan mudah terbakar (Lewandowska-Bernat & Desideri, 2018).

C. Perbandingan Baterai dengan Teknologi *Power-to-Gas*

Dalam suatu studi kasus yang membandingkan penggunaan baterai dengan teknologi penyimpanan energi menggunakan hidrogen untuk beban rumah tangga di Swedia, parameter yang digunakan sebagai tolak ukur adalah *net present value* (NPV) dan *self-sufficient ratio* (SSR). NPV dapat diartikan sebagai perbandingan antara nilai pemasukan atau pengeluaran dari suatu komoditas dalam nilai uang saat ini dengan nilai investasi dari barang tersebut (Gallo, 2014), sedangkan SSR adalah rasio energi listrik yang dibangkitkan dengan total energi listrik yang dikonsumsi dalam sistem tersebut (Haynes, 2018). Hasil dari penelitian ini mengatakan bahwa baterai memiliki SSR yang lebih besar dibandingkan penyimpanan hidrogen untuk nilai NPV yang sama besarnya. Selain itu, hasil studi sensitifitas mengindikasikan bahwa biaya elektroliser merupakan faktor utama untuk meningkatkan SSR dan NPV pada penyimpanan hidrogen. Jika biaya elektroliser dapat diturunkan menjadi 25% dari biaya saat ini, penyimpanan gas hidrogen dapat memiliki SSR yang serupa dengan baterai. Oleh karena itu, gagasan untuk menggabungkan kedua penyimpanan energi tersebut ke dalam suatu sistem dapat lebih menguntungkan daripada menggunakan salah satunya (Zhang dkk., 2016). Hal ini karena penyimpanan energi yang disimpan di dalam hidrogen dapat disimpan dalam waktu yang lebih lama dibandingkan baterai sehingga lebih baik untuk menggunakan keduanya di dalam suatu sistem.

Hasil penelitian lain yang membahas penggunaan baterai dan hidrogen sebagai sumber energi untuk menjalankan beragam macam transportasi (Offer dkk., 2010)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Pernyataan tersebut menyatakan bahwa kendaraan yang menggunakan teknologi ini jauh lebih mahal bila dibandingkan kendaraan berbahan bakar minyak. Penelitian ini juga menyarankan agar baterai dan penyimpanan hidrogen dikombinasikan menjadi suatu sistem *hybrid* untuk kendaraan yang ramah lingkungan. Seperti sebelumnya, penyimpanan energi dalam bentuk hidrogen dilihat sebagai komplemen dari baterai, bukan sebagai pesaing industri baterai tersebut.

Walaupun studi kasus di atas hanya menggambarkan perbandingan antara baterai dan penyimpanan hidrogen (bukan baterai dengan PtG), dapat dilihat secara kasar bahwa teknologi ini dapat saling melengkapi. Oleh karena itu, industri teknologi PtG dapat berkembang serta bersaing dengan baterai jika harga komponen yang digunakan dapat ditekan.

Selain itu, studi kasus di Jerman menyatakan bahwa dengan menggunakan analisis makroekonomi, biaya balik modal untuk investasi penggunaan teknologi PtG tidak dapat tercapai paling tidak sampai tahun 2030 (McKenna dkk., 2018). Hal ini perlu diperhatikan jika ingin mengimplementasikan teknologi ini secepatnya karena untuk teknologi ini bisa bersaing dengan pasar yang ada di Indonesia, tentu keberjalanan usaha harus diperhatikan juga.

D. Persiapan Teknologi *Power-to-Gas* di Indonesia

Dalam mendukung peningkatan penggunaan EBT, kebutuhan akan media penyimpananan energi akan semakin meningkat seperti penggunaan baterai dan juga teknologi PtG. Kedua penyimpanan energi ini memiliki keunggulan dan kekurangannya masing-masing. Teknologi PtG dapat menyimpan energi di dalamnya untuk jangka waktu yang lebih panjang bila dibanding dengan baterai. Akan tetapi, biaya investasi yang sangat mahal untuk komponen yang digunakan pada PtG dapat membuat sepinya peminat akan teknologi PtG saat ini. Walaupun begitu, kebutuhan gas seperti hidrogen akan meningkat di masa mendatang sehingga pengaplikasian teknologi ini akan segera dibutuhkan secepatnya. Penggunaan teknologi ini dapat dimanfaatkan untuk memenuhi berbagai macam sektor usaha,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

seperti industri, transportasi, dan juga sebagai penyuplai energi listrik. Terutama pada usaha transportasi, beragam jenis kendaraan yang menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar kendaraan telah banyak dikembangkan sehingga kebutuhan akan bahan bakar tersebut akan semakin meningkat di masa mendatang.

Teknologi PtG ini masih terhitung sangatlah baru sehingga ruang untuk pengembangannya masih sangat terbuka lebar. Oleh karena itu, riset mengenai teknologi ini untuk diimplementasikan di Indonesia dapat menjadi krusial untuk dilaksanakan karena menyangkut kebutuhan umum di masa depan dan agar Indonesia tidak menjadi bergantung pada negara lain mengenai teknologi ini. Riset yang dapat dilakukan mengenai teknologi ini adalah seperti peningkatan efisiensi dan bagaimana cara untuk menekan biaya investasi dan perawatan.

Perlu diperhatikan juga, agar industri teknologi ini dapat berkembang dan stabil, kebijakan yang diambil oleh pemerintah harus dapat menaunginya. Hal yang perlu diperhatikan adalah dampak penggunaan teknologi ini kepada ekonomi masyarakat, seperti kemungkinan industri teknologi PtG di Indonesia dapat membuka lapangan pekerjaan baru untuk masyarakat Indonesia ataukah justru menutup lapangan pekerjaan yang telah ada. Kualitas sumber daya manusia di Indonesia juga perlu ditingkatkan agar Indonesia dapat dengan mandiri menjalankan industri ini tanpa harus bergantung pada industri dari luar negeri. Selain dari segi ekonomi, dampak sosial dan lingkungan yang dapat terjadi akibat teknologi ini perlu dikonsiderasi dalam penentuan kebijakan mengenai teknologi ini.

REFERENSI

Ajanovic, A., & Haas, R. (2019). On the long-term prospects of power-to-gas technologies. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, *8*(1), 1–16. https://doi.org/10.1002/wene.318

Cohn, L. (2018). *Power-to-gas in microgrids: Competitive with batteries?* https://microgridknowledge.com/power-to-gas-microgrids-batteries/

Čonka, Z., Kolcun, M., & Morva, G. (2014). Impact of renewable energy sources on power system stability. *Power and Electrical Engineering*, *32*(February), 25. https://doi.org/10.7250/pee.2014.004

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Divya, K. C., & Østergaard, J. (2009). Battery energy storage technology for power systems-An overview. *Electric Power Systems Research*, *79*(4), 511–520. https://doi.org/10.1016/j.epsr.2008.09.017

Gallo, A. (2014). *A refresher on net present value*. https://hbr.org/2014/11/a-refresher-on-net-present-value

Haynes, D. (2018). Metadata concepts. *Metadata for Information Management and Retrieval*, 1–2. https://doi.org/10.29085/9781783302161.002

Kharel, S., & Shabani, B. (2018). Hydrogen as a long-term large-scale energy storage solution to support renewables. *Energies*, *11*(10). https://doi.org/10.3390/en11102825

Kimura, S., & Li, Y. (2019). Demand and supply potential of hydrogen energy in East Asia. *Economic*, *01*, 191. https://www.g20karuizawa.go.jp/assets/pdf/Demand and Supply Potential of Hydrogen Energy in East Asia.pdf

Lewandowska-Bernat, A., & Desideri, U. (2018). Opportunities of power-to-gas technology in different energy systems architectures. *Applied Energy*, *228*(May), 57–67. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.001

Lin, C. K., Lin, R. T., Chen, T., Zigler, C., Wei, Y., & Christiani, D. C. (2019). A global perspective on coal-fired power plants and burden of lung cancer. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, *18*(1), 1–11. https://doi.org/10.1186/s12940-019-0448-8

Mazza, A., Bompard, E., & Chicco, G. (2018). Applications of power to gas technologies in emerging electrical systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *92*(April), 794–806. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.072

McKenna, R. C., Bchini, Q., Weinand, J. M., Michaelis, J., König, S., Köppel, W., & Fichtner, W. (2018). The future role of power-to-gas in the energy transition: Regional and local techno-economic analyses in Baden-Württemberg. *Applied Energy*, *212*(December 2017), 386–400. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.017

Oberschelp, C., Pfister, S., Raptis, C. E., & Hellweg, S. (2019). Global emission hotspots of coal power generation. *Nature Sustainability*, *2*(2), 113–121. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0221-6

Offer, G. J., Howey, D., Contestabile, M., Clague, R., & Brandon, N. P. (2010). Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system. *Energy Policy*, *38*(1), 24–29. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.040

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Pellow, M. A., Emmott, C. J. M., Barnhart, C. J., & Benson, S. M. (2015). Hydrogen or batteries for grid storage? A net energy analysis. *Energy and Environmental Science*, *8*(7), 1938–1952. https://doi.org/10.1039/c4ee04041d

Peraturan Pemerintah Repiblik Indonesia No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. (2014). https://jdih.esdm.go.id/index.php/web/result/186/detail

PT Perusahaan Listrik Negara (PLN). (2019). *Rencana usaha penyediaan tenaga listrik* 2019–2028. https://gatrik.esdm.go.id//assets/uploads/download_index/files/5b16d-kepmen-esdm-no.-39-k-20-mem-2019-tentang-pengesahan-ruptl-pt-pln-2019-2028.pdf

Schiebahn, S., Grube, T., Robinius, M., Tietze, V., Kumar, B., & Stolten, D. (2015). Power to gas: Technological overview, systems analysis and economic assessment for a case study in Germany. *International Journal of Hydrogen Energy*, *40*(12), 4285–4294. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.01.123

UCSUSA. (2019). *Coal power impacts*. https://www.ucsusa.org/resources/coal-power-impacts

Usman, E., Priyambodo, D., Irawan, D., Restuti, A. N., Pujiwati, A., Jati, A. N., Agung PS, P., Sari, S. P., Kurniati, I., Septiyadi, E., Apriari DS, W., Ratnasari, F. D., Ahsol, Y. M., & Hutapea, R. (2020). *Bauran energi nasional*. Dewan Energi Nasional - Sekretariat Jenderal.

Vandewalle, J., Bruninx, K., & D'Haeseleer, W. (2015). Effects of large-scale power to gas conversion on the power, gas and carbon sectors and their interactions. *Energy Conversion and Management*, *94*, 28–39. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.038

Zhang, Y., Lundblad, A., Campana, P. E., & Yan, J. (2016). Comparative study of battery storage and hydrogen storage to increase photovoltaic self-sufficiency in a residential building of Sweden. *Energy Procedia*, *103*(April), 268–273. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.284

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB XIV

Persiapan Indonesia dalam Menghadapi Perkembangan Kendaraan Listrik

Ghiffari Aby Malik Nasution

A. Ketergantungan terhadap BBM

Pada tahun 2019, Bahan Bakar Minyak (BBM) menjadi sumber energi yang menempati peringkat pertama konsumsi di Indonesia yaitu sebanyak 47,1% dari jumlah total konsumsi Indonesia. Jumlah tersebut jauh lebih besar dari biogas dan batu bara yang menjadi peringkat kedua dan ketiga dengan angka 15,9% dan 14% dari total konsumsi (Kementerian ESDM, 2019). Ketergantungan yang besar terhadap BBM ini berpotensi menyebabkan terjadinya krisis energi apabila terjadi kelangkaan BBM. Salah satu faktor utama tingginya konsumsi BBM di Indonesia adalah penggunaan kendaraan bermotor di masyarakat. Tingginya angka konsumsi BBM menyebabkan Indonesia mengalami defisit BBM dalam 10 tahun terakhir (Gambar 14.1).

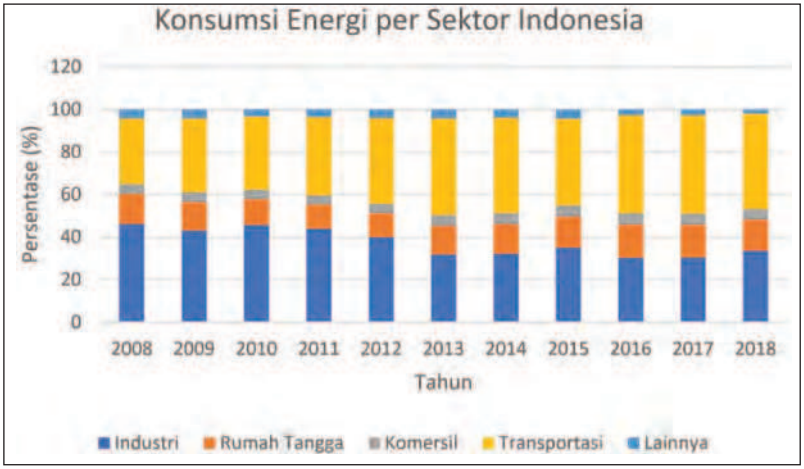
Dari tahun 2009 sampai 2019, produksi BBM di Indonesia mengalami penurunan setiap tahunnya, sementara konsumsi BBM mengalami peningkatan. Produksi BBM dari tahun 2009 sampai 2015 turun dari sekitar satu juta barel ke 834 ribu barel, sementara konsumsi naik dari 1,3 juta barel ke 1,7 juta barel. Setelah itu, dari 2014 sampai

Buku ini tidak diperjualbelikan.

2016, produksi BBM mengalami sedikit peningkatan ke 876 ribu barel, sementara konsumsi BBM turun menjadi 1,5 juta barel. Namun, dari 2016 sampai 2019, produksi BBM kembali turun ke 781 ribu barel, sementara konsumsi kembali ke 1,7 juta barel.

Sumber: BP (2020)

Gambar 14.1 Grafik Produksi dan Konsumsi Minyak Indonesia



Sumber: Kementerian ESDM (2019)

Gambar 14.2 Konsumsi Energi per Sektor Indonesia

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Apabila situasi ini terus berlanjut, krisis energi di Indonesia yang diakibatkan oleh ketergantungan terhadap BBM dapat terjadi dalam waktu dekat. Untuk mencegah hal tersebut, upaya untuk mengurangi pemakaian BBM harus dilakukan, khususnya dalam sektor transportasi yang menempati urutan teratas dari tahun 2013 untuk konsumsi energi (Gambar 14.2).

B. Peran Mobil Listrik sebagai Kendaraan Hemat Energi

Salah satu upaya untuk mengurangi pemakaian BBM pada sektor transportasi adalah dengan menggunakan kendaraan hemat energi, termasuk kendaraan listrik. Kendaraan listrik adalah kendaraan yang menggunakan motor listrik sebagai penggeraknya dan tidak membutuhkan BBM seperti kendaraan bermotor konvensional. Sumber energi kendaraan listrik bisa berasal dari sumber energi alternatif, seperti air, angin, dan sumber lainnya. Selain hemat energi, kendaraan listrik juga ramah lingkungan karena tidak mengeluarkan emisi atau nol emisi.

Kendaraan listrik, khususnya mobil listrik, lebih hemat dalam penggunaan energi daripada mobil konvensional. Dalam segi efisiensi, mobil listrik memiliki efisiensi lebih tinggi dari mobil konvensional. Pada umumnya, mobil konvensional menggunakan 12–30% dari energi yang dihasilkan oleh BBM yang digunakan. Sementara itu, mobil listrik menggunakan sekitar 73% dari energi listrik yang diproduksi (Helms dkk., 2010). Jika efisiensi keduanya dibandingkan, efisiensi energi listrik dapat mencapai enam kali efisiensi mobil konvensional.

Secara garis besar, jika dibanding dengan mobil konvensional berbahan bakar minyak, mobil listrik memiliki banyak kelebihan, antara lain

1. ramah lingkungan (tidak mengeluarkan emisi)
2. ekonomis (ekonomi bahan bakar dapat melebihi 200 km per galon)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

3. hemat energi (efisiensi energi enam kali lebih tinggi).

C. Gambaran Umum Mobil Listrik dan Teknologinya

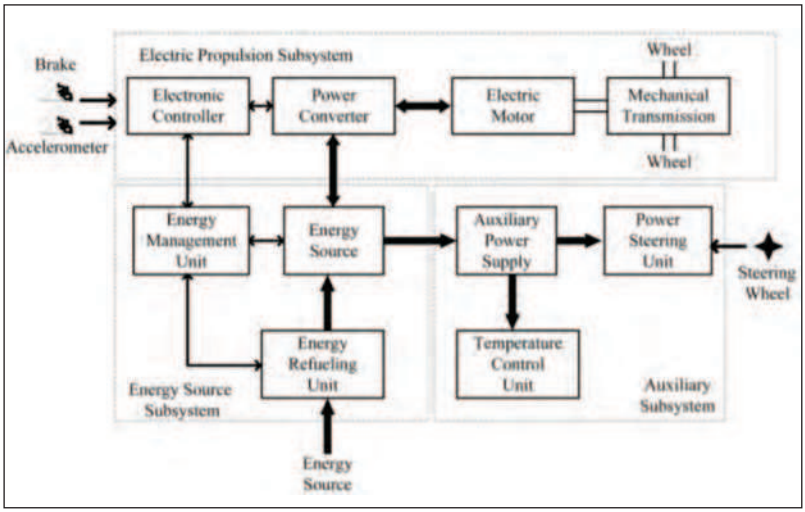
Sejatinya, mobil listrik sudah muncul sejak tahun 1800-an. Hanya saja, perkembangan pesat dari mobil berbahan bakar minyak dan murahnya harga BBM pada saat itu menyebabkan sinar mobil listrik redup secara cepat. Mobil listrik pun kemudian hilang dari pembicaraan dan mengalami sedikit perkembangan selama lebih dari lima puluh tahun setelahnya.

Titik balik perkembangan mobil listrik akhirnya terjadi pada akhir abad ke-20 dan awal abad ke-21 dengan diawali oleh isu lingkungan dan emisi CO_2 yang mulai marak diperbincangkan di dunia. Performa mobil listrik seperti Toyota Prius pun mulai mengejar mobil konvensional dan penelitian teknologi untuk mobil listrik, termasuk baterai, berkembang pesat. Hingga saat ini, beberapa perusahaan otomotif besar di dunia, seperti Tesla, Toyota, dan Renault berlomba dalam penelitian, produksi, dan pemasaran mobil listrik di dunia.

Di ASEAN, negara-negara seperti Filipina, Indonesia, Singapura, baru mencanangkan program pengembangan mobil listrik setelah tahun 2010. Produk baru pun bermunculan, seperti Tucuxi dan Selo di Indonesia. Sayangnya, infrastruktur dan teknologi yang belum memadai masih membuat mobil listrik sulit untuk memegang peran penting sebagai alat transportasi.

Mobil listrik terdiri dari beberapa komponen utama, seperti motor listrik; sistem sumber energi, termasuk baterai; unit manajemen energi dan unit pengisian ulang (*Energy Refueling Unit* atau ERU); dan *power electronics* yang merangkup *power converter* dan *electronic controller* (Gambar 14.3). Motor listrik adalah komponen penggerak mobil listrik, tempat energi listrik diubah menjadi energi mekanik. Energi untuk motor listrik disuplai oleh sistem sumber energi, termasuk baterai, yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi listrik. Baterai dapat diisi ulang jika energi listrik yang dikandung di dalamnya hampir habis melalui ERU.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Un-Noor dkk. (2017)

Gambar 14.3 Komponen Utama Mobil Listrik

Selain komponen-komponen utama yang telah disebutkan, mobil listrik juga membutuhkan Stasiun Pengisian Listrik Umum (SPLU) dan sarana infrastruktur pendukung lainnya, seperti metode pengisian *fast charging* atau sistem pengisian cepat. Jika pengisian baterai dilakukan tanpa metode tersebut, waktu yang dibutuhkan untuk mengisi penuh baterai akan menjadi sangat lama sehingga mobil listrik menjadi tidak praktis.

Beberapa perusahaan otomotif dunia telah berhasil mengembangkan dan menjual mobil listrik di pasaran, seperti Tesla, dan Toyota. Tesla, Inc., atau dulu dikenal sebagai Tesla Motors, adalah salah satu produsen terbesar mobil listrik yang telah berdiri sejak 2003 dan berasal dari California, Amerika Serikat. Tesla Motors meluncurkan produk mobil *roadster* pertamanya pada tahun 2008. Mobil tersebut dapat menempuh perjalanan sejauh 394 km hanya dalam satu kali pengisian dan berhasil terjual sebanyak 1.500 unit sampai bulan Januari 2011. Tesla memakai baterai jenis *lithium-ion* untuk mobil listriknya. Pada awal tahun 2012, Tesla membangun sistem pengisian

Buku ini tidak diperjualbelikan.

baterai dengan metode *fast charging* dan dinamai Tesla Superchargers. Salah satu produk terbaru Tesla adalah Model X yang memiliki jarak tempuh 475 km dalam satu kali pengisian.

Di balik contoh-contoh berhasil di atas, tentu saja ada contoh perusahaan-perusaahan yang gagal dalam memasuki pasar mobil listrik, seperti Artega dan Aptera. Artega adalah produsen mobil *sport* asal Jerman yang mengeluarkan produk mobil listrik Artega GT dan Artega SE. Kedua mobil dilengkapi dengan baterai *lithium-ion* dan memiliki kekuatan sebesar 300 HP dan 380 HP. Penyebab kegagalan Artega adalah ketidakmampuannya dalam mencari investor untuk proyek mereka.

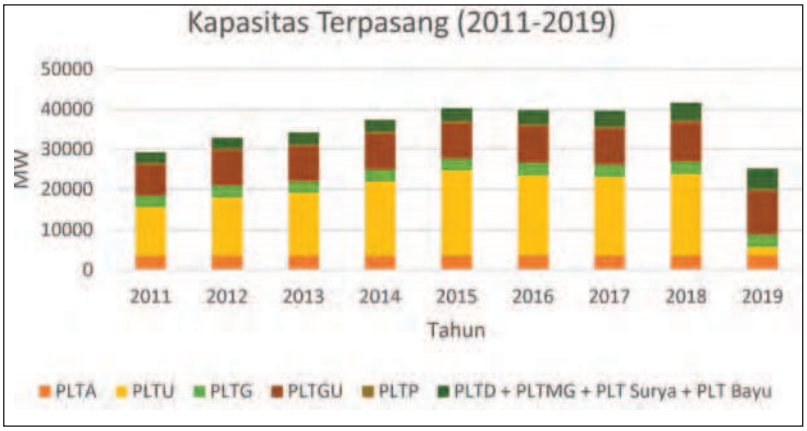
D. Kondisi Kelistrikan Di Indonesia

Untuk merealisasikan program mobil listrik nasional di Indonesia, salah satu aspek yang harus diperhitungkan adalah kebutuhan dan ketersediaan energi listrik yang ada saat ini. Hal ini sangat krusial, mengingat bahwa elektrifikasi Indonesia yang belum mencapai 100% dan hanya mencapai sekitar 99% pada 2019. Mobil listrik yang membutuhkan tenaga listrik dalam operasinya tentu akan membuat kebutuhan energi listrik di Indonesia meningkat.

Dari tahun 2011 sampai 2019, total kapasitas terpasang mengalami peningkatan sebesar 49,84%, dari 29.268,16 GW menjadi 43.856,08 GW, dengan kenaikan jumlah unit pembangkit sebesar 13,62% menjadi 5.987 pembangkit di 2019 dan didominasi oleh PLTU (Gambar 14.4). Pada tahun 2019, PLN mengeluarkan target untuk menaikkan kapasitas pembangkit menjadi 56.397 MW pada tahun 2028.

Beban puncak pada tahun 2019 mencapai 41.670,85 MW, mengalami kenaikan sebesar 7,48% dari tahun sebelumnya. Beban puncak sistem interkoneksi Jawa Bali mencapai 26.658 MW, turun 1,52% dari tahun sebelumnya. Selain itu, energi yang diproduksi mengalami kenaikan sebesar 52,08% dari 183.420,94 GWh di tahun 2011 menjadi 278.941,07 GWh di tahun 2019 (Tabel 14.1).

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: PLN (2019)

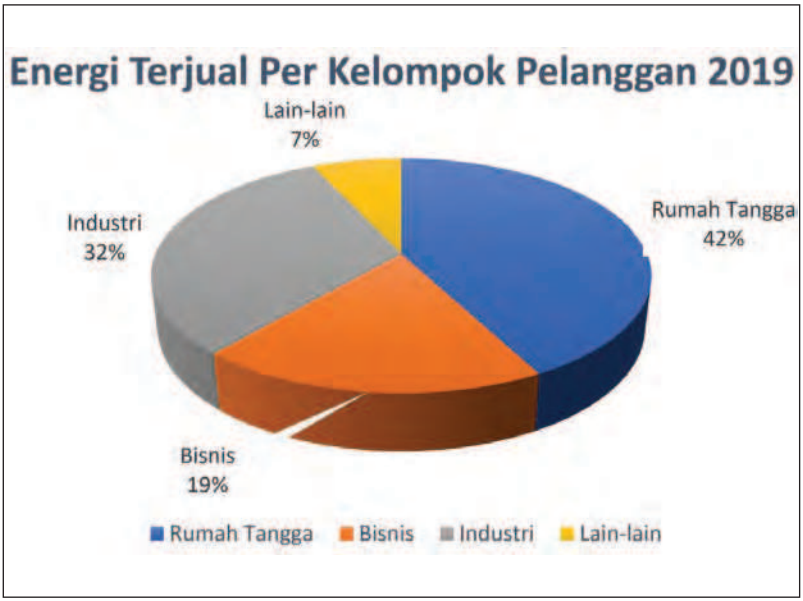
Gambar 14.4. Kapasitas terpasang di Indonesia 2011–2019

Tabel 14.1 Kondisi Kelistrikan Indonesia 2011–2019

Tahun	Kapasitas terpasang [MW]	Daya mampu [MW]	Energi yang diproduksi [GWh]	Energi yang terjual [GWh]
2011	29.268,16	25.449,92	183.420,94	157.992,66
2012	32.901,48	28.085,86	200.317,59	173.990,74
2013	34.205,63	29.010,77	216.188,54	187.541,02
2014	37.227,55	31.974,93	228.554,91	198.601,78
2015	40.295,25	33.755.32	233.981,99	202.845,82
2016	39.785,06	34.471.39	248.610,52	216.004,29
2017	39.651,79	33.931.83	254.659,78	223.133,72
2018	41.696,17	33.931.83	267.085,38	234.617,88
2019	43.856,08	36.920.09	278.941,07	245.518,17

Sumber: PLN (2019)

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: PLN (2019)

Gambar 14.5. Energi terjual per kelompok pelanggan 2019

Jumlah energi yang terjual ke pelanggan PLN pada tahun 2019 sebesar 245.518,17 GWh, meningkat 4,65% dari tahun sebelumnya. Di antara kelompok pelanggan, pembeli terbesar adalah rumah tangga sebesar 103.733,43 GWh atau 42% dari total energi terjual, dilanjutkan oleh industri, bisnis, dan lain-lain dengan besaran masing-masing, yaitu 77.878,65; 46.901,25; dan 17.004,83 GWh atau 32%, 19%, dan 7% dari total energi terjual (Gambar 14.5).

E. Kebutuhan dan Ketersediaan Energi Listrik untuk Mobil Listrik

Contoh perhitungan daya mobil listrik di bawah ini mengacu pada mobil listrik jenis sedan *retrofit* sedan Timor 1.500 cc hasil karya Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Dari Tabel 14.2, dapat diketahui bahwa satu unit mobil listrik membutuhkan daya listrik

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tabel 14.2 Perhitungan Kebutuhan Energi Mobil Listrik

Baterai	108 VAC, 200 Ah
Pengisian daya	Input 220 VAC, output 108 VDC 52 A
Lama pengisian daya	200 Ah / 52 A = ± 4 jam
Daya input = daya output	108 V x 52 A ≈ 6.000 W
Kebutuhan daya pengisian mobil listrik	6 kW
Kebutuhan energi listrik selama pengisian daya	6 kW x 4 jam = 24 kWh (1 kali pengisian)
Jarak tempuh	150 km untuk satu kali pengisian
Kebutuhan daya listrik rumah minimal	7.040 VA (32 A) → untuk listrik rumah tangga golongan R-3/TR daya 6.600 VA ke atas

Sumber: Subekti dkk. (2014)

sekitar 6.000 W dengan lama tiap pengisian empat jam. Oleh karena itu, satu unit mobil listrik membutuhkan energi sebesar 24 kWh untuk satu kali pengisian baterai. Jika pengisian mobil listrik dilakukan di rumah, kebutuhan daya listrik rumah minimal adalah 7.040 VA (32 A) (Subekti dkk., 2014).

Untuk menghitung jumlah mobil listrik yang dapat diisi dayanya secara bersamaan saat beban puncak, ketersediaan listrik saat beban puncak harus masuk ke perhitungan. Dari Tabel 14.1, diketahui bahwa pada tahun 2019, besaran daya mampu adalah 36.920,09 MW dan beban puncak mencapai 41.670,85 MW. Selain itu, dari Tabel 14.2, kebutuhan pengisian daya mobil listrik sudah dihitung sebesar 6 kW. Selanjutnya, jumlah mobil listrik yang dapat diisi dayanya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan perbedaan daya mampu dan beban puncak per kebutuhan pengisian daya mobil listrik. Melalui persamaan ini, karena pada tahun 2019 besaran daya mampu lebih kecil daripada beban puncak sehingga menghasilkan hasil negatif, jumlah mobil listrik yang dapat diisi dayanya adalah nol. Ini berarti bahwa mobil listrik tidak dapat diisi dayanya saat beban puncak,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

sedangkan untuk perhitungan jumlah mobil listrik yang dapat diisi dayanya di luar waktu beban puncak, energi yang terpakai saat beban puncak harus dikecualikan.

Tabel 14.3 Perhitungan Konsumsi Energi Listrik di Luar Waktu Beban Puncak

Energi listrik yang diproduksi per tahun	278.941,07 GWh (Tabel 14.1)
Energi listrik yang terpakai oleh pelanggan	245.518,17 GWh / tahun (Tabel 14.1)
	672.652,52 MWh / hari
Kelebihan energi listrik	33.422,9 GWh / tahun
	91.569,59 MWh / hari
Waktu beban puncak	17.00–22.00 (5 jam)
Waktu di luar beban puncak	24-5 = 19 jam
Besar kebutuhan daya saat beban puncak	41.670,85 MW
Konsumsi energi listrik saat beban puncak	41.670,85 MW x 5 jam = 208.354,25 MWh
Konsumsi energi listrik di luar beban puncak	672.652,52 - 208.354,25 = 464.298,27 MWh (selama 19 jam)
Konsumsi daya listriik tiap jam di luar beban puncak (konsumsi listrik reguler)	464.298,27 / 19 = 24.436,75 MW
Daya mampu	36.920.09 MW (Tabel 14.1)

Untuk memudahkan perhitungan, asumsikan bahwa beban puncak berlangsung dari pukul 17.00 sampai 22.00 waktu setempat. Selanjutnya, jumlah mobil listrik yang dapat diisi dayanya di luar waktu beban puncak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan perbedaan daya mampu dan konsumsi listrik per kebutuhan pengisian daya mobil listrik. Hasil perhitungan untuk konsumsi listrik reguler dapat dilihat di Tabel 14.3, yaitu 24.436,75 MW, maka jumlah mobil listrik yang dapat diisi dayanya di luar waktu beban puncak adalah sekitar 2.080.557 unit.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Total kebutuhan energi mobil listrik saat diisi daya di luar waktu beban puncak juga telah dihitung dan ditunjukkan pada Tabel 14.4. Dari hasil perhitungan, kebutuhan energi mobil listrik per tahun adalah 18 GWh. Melihat hasil perhitungan kebutuhan energi mobil listrik per tahun di Tabel 14.4, dapat disimpulkan bahwa Indonesia masih memiliki tantangan yang cukup besar untuk dapat merealisasikan industri mobil listrik nasional.

Tabel 14.4 Perhitungan Kebutuhan Energi Mobil Listrik per Tahun di Luar Waktu Beban Puncak

Kebutuhan daya mobil listrik saat di-charge	6 kW
Kebutuhan daya total mobil listrik saat di-charge	6 kW x 2.080.557 unit = 12.483,34 MW
Kebutuhan energi mobil listrik per hari	12.483,34 MW x 4 jam (waktu charge) = 49.933,36 MWh
Kebutuhan energi mobil listrik per tahun	49.933,36 MWh x 365 hari = 18.225,68 GWh

F. Tantangan Pengembangan Mobil Listrik Nasional

Tantangan untuk mengembangkan mobil listrik nasional mencakup semua aspek, termasuk teknis dan nonteknis. Berikut adalah beberapa hal yang menjadi tantangan dalam pengembangan industri mobil listrik nasional.

1. Jarak tempuh mobil listrik

Untuk saat ini, mobil listrik memiliki jarak tempuh rata-rata sebesar 100–150 km untuk satu kali pengisian baterai. Oleh karena itu, mobil listrik kurang sesuai untuk pemakaian yang membutuhkan jarak tempuh tinggi seperti perjalanan antar kota. Selain itu, jarak tempuh mobil listrik juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lainnya, termasuk cara mengemudi, beban yang dibawa, suhu di dalam mobil, dan tingkat kemacetan. Mengingat bahwa sebagian kota besar di Indonesia memiliki tingkat kemacetan yang tinggi, mobil listrik masih memiliki

Buku ini tidak diperjualbelikan.

kesulitan untuk memenuhi kebutuhan transportasi di Indonesia. Jadi, pengembangan teknologi baterai mobil listrik menjadi salah satu hal utama untuk mencapai jarak tempuh yang lebih jauh.

2. Harga mobil listrik

Harga mobil listrik yang masih tinggi saat ini dipengaruhi oleh harga salah satu komponen utamanya yaitu baterai. Sebagian besar perusahaan mobil listrik di dunia masih memiliki kesulitan untuk menekan biaya produksi baterai, terutama karena material yang digunakan dalam produksinya. Sebagai contoh, harga Tesla Model 3 di Indonesia saat ini adalah 1,5 milyar rupiah. Jadi, harga mobil listrik masih menjadi halangan dalam perkembangannya, terlebih bila dibanding dengan harga mobil konvensional.

3. Isu sosial

Masyarakat Indonesia memiliki tendensi untuk sulit dalam menerima perubahan, terlebih bila perubahan itu menyangkut hal dasar yang mereka lakukan sehari-hari seperti mengisi bensin. Bukan tidak mungkin kalau perubahan kebiasaan dari pengisian bensin untuk mobil berbahan bakar minyak menjadi pengisian daya untuk mobil listrik terjadi secara tiba-tiba, akan muncul respons-respons negatif dan keberatan dari masyarakat. Salah satu hal yang dapat dibandingkan adalah perbedaan waktu untuk pengisian yang cukup signifikan. Pengisian bensin membutuhkan waktu sekitar 5–10 menit, sedangkan pengisian daya jika menggunakan sistem *fast charging* membutuhkan waktu 30 menit sampai hitungan jam.

4. Infrastruktur dan Industri Pendukung

Infrastruktur pendukung mobil listrik di Indonesia dapat dibilang masih sangat minim. Mobil listrik membutuhkan SPLU untuk mengisi ulang baterainya. Saat ini, baru ada 62 unit SPLU di Indonesia, termasuk 21 unit di Jakarta, Bandung, Tangerang, Semarang, Surabaya, dan Bali. Pembangunan SPLU tentu harus dipelopori oleh pemerintah untuk mendukung kelancaran pemakaian mobil listrik. Selain itu, industri pendukung mobil listrik pun harus diperhatikan karena

Buku ini tidak diperjualbelikan.

berkaitan erat dengan tingkat produksi mobil listrik, termasuk pabrik, bengkel, dan suku cadang.

G. Keekonomisan Mobil Listrik

Mobil listrik adalah kendaraan hemat energi yang menggunakan energi listrik untuk operasionalnya. Dari segi ekonomi, mobil listrik membutuhkan biaya yang lebih sedikit dalam operasinya. Tabel 14.5 menunjukkan perbandingan biaya operasional untuk menempuh jarak 100 km antara mobil listrik Ford dan Audi dengan mobil konvensional Volkswagen. Volkswagen menggunakan 6,4 liter BBM untuk menempuh 100 km. Harga bensin pertalite adalah 7.650 rupiah per liter. Jadi, total biaya mobil Volkswagen untuk menempuh 100 km adalah 66.555 rupiah. Ford dan Audi membutuhkan 15,4 kWh dan 11,5 kWh untuk menempuh 100 km. Tarif listrik rumah tangga daya lebih dari 6.600 VA adalah 1.444,70 rupiah per kWh. Jadi, total biaya mobil listrik Ford dan Audi untuk menempuh 100 km adalah Rp22.681,79 dan Rp16.614,05 atau kurang dari sepertiga biaya mobil Volkswagen. Oleh karena itu, mobil listrik jelas lebih ekonomis dari pada konvensional.

Tabel 14.5 Perbandingan Biaya Operasional Mobil Listrik dan Konvensional

Jenis kendaraan	Konsumsi bahan bakar	Harga bahan bakar	Total biaya
Ford Focus Electric	15,7 kWh / 100 km	Rp1.444,70 / kWh	Rp22.681,79
Audi A3 e-tron	11,5 kWh / 100 km	Rp1.444,70 / kWh	Rp16.614,05
Volkswagen Golf GTI	8.7 l / 100 km	Rp7.650,00 / l	Rp66.555,00

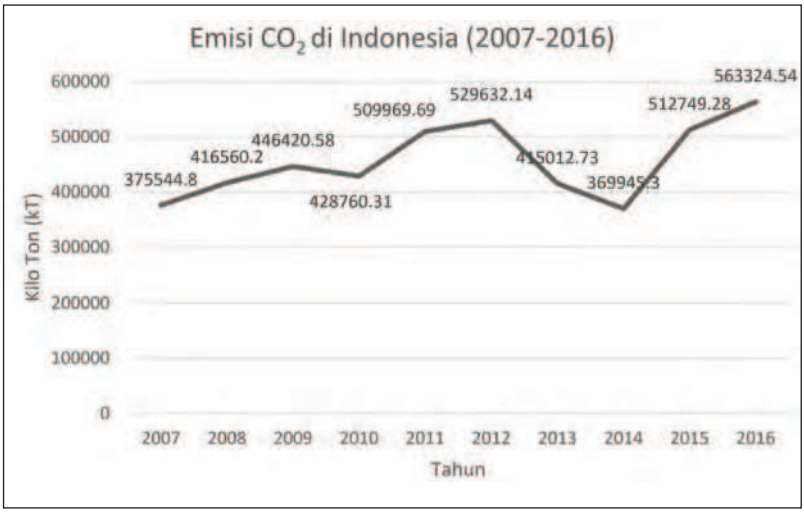
Sumber: Palinski (2017)

H. Emisi Co_2 Mobil Listrik

Dari segi lingkungan, penggunaan mobil listrik dapat berkontribusi secara signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO_2). Gambar 14.6 menunjukkan peningkatan emisi CO_2 di Indonesia dari 2007–2016 sebesar 50% dan mencapai 563 MT pada 2016 (The World Bank,

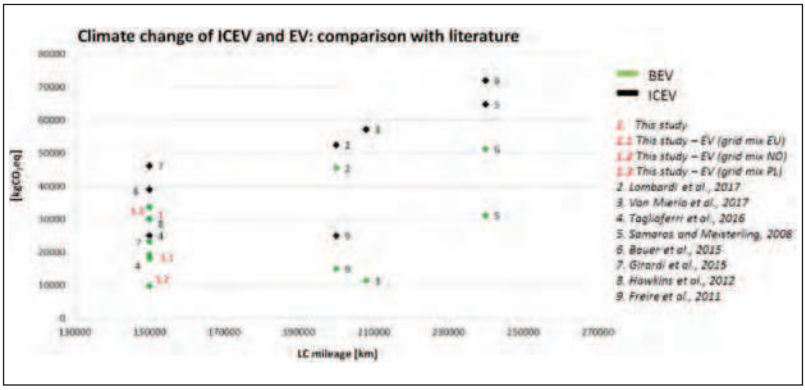
Buku ini tidak diperjualbelikan.

2017). Sumber utama emisi CO_2 di Indonesia adalah sektor transportasi sebanyak 157 MT (Dunne, 2019). Oleh sebab itu, mobil listrik pun dapat menjadi solusi untuk mengurangi emisi CO_2 di Indonesia.



Sumber: The World Bank (2017)

Gambar 14.6 Emisi CO_2 di Indonesia 2007–2016



Sumber: Pero dkk. (2018)

Gambar 14.7 Perbandingan Emisi CO_2 Mobil Listrik dan Mobil Konvensional

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Jika dibandingkan mobil konvensional, mobil listrik menghasilkan emisi yang jauh lebih sedikit. Untuk jarak tempuh 150 ribu km, emisi CO_2 mobil listrik (*Battery Electric Vehicle* atau BEV) hanya setengah dari konvensional (*Internal Combustion Engine Vehicle* atau ICEV) dengan kisaran 10–30 MT (Gambar 14.7). Bahkan, jika siklus hidup produk dijadikan sebagai acuan, total emisi CO_2 mobil listrik tetap jauh di bawah mobil konvensional sehingga mobil listrik adalah salah satu solusi untuk mengurangi polusi udara di Indonesia.

I. Kesiapan Teknologi dan Infrastruktur, Ketersediaan Energi Listrik, serta Dukungan Pemerintah dan Lembaga yang Bersangkutan

Salah satu kunci pengembangan mobil listrik di Indonesia adalah kesiapan teknologi, terutama untuk teknologi baterai yang harganya mencapai hampir setengah dari harga mobil listrik. *Solid-state* dan *lithium-silicon* adalah dua jenis baterai yang sedang ramai diteliti secara global dan diisukan akan merevolusi industri mobil listrik. Kedua baterai tersebut dapat menaikkan performa, menyimpan lebih banyak energi, bertahan lebih lama, dan lebih murah bila dibandingkan baterai *lithium-ion* yang sekarang banyak digunakan.

Indonesia adalah negara yang kaya akan sumber daya alam, termasuk nikel yang digunakan dalam produksi baterai. Oleh sebab itu, Indonesia sudah memiliki modal untuk mengembangkan teknologi mobil listrik. Kerja sama dengan perusahaan swasta dan peneliti, baik dalam negeri maupun luar negeri, sebaiknya difokuskan ke baterai *solid-state* dan *lithium-silicon*.

Selain itu, infrastruktur pendukung pun harus ditingkatkan kesiapannya. SPLU yang saat ini berjumlah 62 unit tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan penggunaan mobil listrik. Selain itu, pembangunan Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) dan Stasiun Penukaran Baterai Kendaraan Listrik Umum (SPBKLU) juga harus dipercepat. Pembangunan SPLU, SPKLU, dan SPBKLU dapat dimulai dari kota-kota penting dahulu, kemudian disebar ke

Buku ini tidak diperjualbelikan.

seluruh provinsi di Indonesia sehingga perkembangan mobil listrik dapat dilaksanakan dengan merata.

Selain mempersiapkan teknologi dan infrastruktur pendukung, pemerintah juga harus memberikan pengarahan ke masyarakat untuk membantu proses produksi dan penggunaan mobil listrik. Salah satu contoh upaya yang dapat dilakukan untuk mendorong minat masyarakat untuk pindah dari mobil konvensional ke mobil listrik adalah dengan mengurangi jumlah penjualan mobil konvensional dan menambah jumlah penjualan mobil listrik secara bersamaan. Proses transisi ini sebaiknya dilakukan secara bertahap. Sebagai contoh, penjualan mobil listrik di Jepang mengambil 39% dari total penjualan mobil pada tahun 2019. Pemerintah Jepang berencana untuk menaikkan penjualan mobil listrik menjadi 50% sampai 70% pada tahun 2030. (Tabeta, 2020).

Pada tahun 2019, Indonesia mengalami defisit antara beban puncak dan daya mampu energi listrik yang tersedia sebesar 4750.76 MW. Padahal, tiap unit mobil listrik membutuhkan 6 kW dalam setiap pengisiannya (Tabel 14.2). Bahkan dalam satu tahun, jumlah total energi listrik yang dibutuhkan untuk operasional mobil listrik di Indonesia cukup signifikan dan mencapai 18.225,68 GWh atau sekitar 6.53% dari total energi yang diproduksi pada tahun 2019. Oleh karena itu, produksi listrik di Indonesia harus terus ditingkatkan melalui program-program Perusahaan Listrik Negara (PLN) ataupun bekerjasama dengan perusahaan swasta.

Energi listrik yang digunakan dalam operasi mobil listrik tidak hanya berasal dari bahan bakar minyak, tetapi juga dapat berasal dari Energi Baru Terbarukan (EBT). Oleh karena itu, pengembangan produksi energi listrik melalui EBT juga memiliki peranan penting dalam ketersediaan energi listrik. Selain itu, Indonesia memiliki target untuk menaikkan produksi listrik melalui EBT menjadi 23% dari produksi total pada tahun 2025. Alasan-alasan di atas menjadi landasan supaya Indonesia mengembangkan produksi EBT-nya, terutama untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) seperti PLTB Sidrap yang diresmikan tahun lalu dan Pembangkit Listrik Tenaga

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Surya (PLTS) yang merupakan dua sistem pembangkit dengan potensi paling besar.

Selain pembangkit berskala besar seperti PLTB Sidrap, Indonesia juga dapat fokus ke pembangkit berkala kecil. Karena umumnya pembangkit berskala kecil adalah sistem *standalone* (tidak terhubung dengan *grid* listrik), kegunaannya kebanyakan adalah untuk *local power generation*. Mengingat Indonesia adalah negara kepualauan dan masih banyak daerah yang belum terjangkau listrik atau tidak terhubung dengan *grid* listrik, pembangkit berskala kecil dapat menjadi solusi, contohnya adalah menggunakan panel surya sebagai sumber energi SPKLU atau SPBKLU.

Salah satu aspek terpenting dalam pengembangan mobil listrik nasional adalah dukungan pemerintah dan lembaga-lembaga lain yang bersangkutan. Pemerintah harus mengeluarkan kebijakan yang tertuang dalam Peraturan Presiden, Peraturan Pemerintah, dan Keputusan Menteri yang mendukung program mobil listrik nasional. Pada tahun 2019, Presiden Jokowi telah mengeluarkan Perpres No. 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) untuk Transportasi Jalan. Isi Perpres tersebut antara lain membahas inovasi industri untuk kendaraan bermotor listrik berbasis baterai, mengharuskan kendaraan bermotor listrik dan industri komponen kendaraan listrik wajib mengutamakan penggunaan komponen dalam negeri, dan insentif untuk mempercepat program kendaraan bermotor listrik. Perpres No. 55 tahun 2019 dapat menjadi landasan untuk mengeluarkan kebijakan-kebijakan lainnya untuk merealisasikan program mobil listrik nasional.

Selain itu, pemerintah melalui BUMN ataupun BUMS juga harus memolopori pembangunan infrastruktur pendukung mobil listrik, seperti SPLU, SPKLU, dan SPBKLU untuk menunjang pemakaian mobil listrik oleh masyarakat. Biaya pembangunan infrastruktur-infrastruktur ini bisa diambil dari sebagian biaya subsidi BBM sehingga sekaligus dapat menurunkan konsumsi BBM oleh masyarakat.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Unsur penting untuk keberhasilan program mobil listrik nasional adalah keseriusan dan dukungan nyata dari pemerintah dan sinergi antara semua lembaga yang bersangkutan. Kegagalan program-program mobil listrik sebelumnya, seperti Selo, harusnya dapat menjadi pelajaran bagi Indonesia, bahwa karya anak bangsa tidak kalah dengan negara-negara lain. Secara garis besar program mobil listrik nasional, pemerintah pusat dapat berperan sebagai koordinator utama yang mengeluarkan kebijakan dan peraturan pendukung program mobil listrik nasional dengan Menristek sebagai koordinator riset dan pengembangan teknologi yang bekerja sama dengan peneliti di universitas atau lembaga riset dalam negeri serta Kementerian Perindustrian sebagai koordinator industri utama dan pendukung yang bekerjama dengan perusahaan dalam negeri, dsb. Contoh peraturan pendukung pemerintah adalah dengan mengeluarkan subsidi untuk produksi dan konsumsi mobil listrik serta teknologi pendukungnya. BUMN dapat berperan sebagai pelopor pembangunan dan perawatan infrastrukur pendukung, seperti SPLU, SPKLU, dan SPBKLU. Indonesia adalah negara yang kaya dengan sumber daya, baik itu alam maupun manusia. Oleh karena itu, sudah sepatutnya Indonesia dapat mewujudkan kemandirian industri dalam negeri, termasuk untuk mobil listrik dan kendaraan listrik lainnya.

REFERENSI

BP. (2020). *Statistical review of world energy 2020: 69th edition*. https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf

Dunne, D. (2019). *The carbon brief profile: Indonesia*. https://www.carbonbrief.org/the-carbon-brief-profile-indonesia

Helms, H., Pehnt, M., Lambrecht, U., & Liebich, A. (2010). Electric vehicle and plug-in hybrid energy efficiency and life cycle emissions. Dalam *18th International Symposium Transport and Air Pollution*.

Kementerian ESDM. (2019). *Handbook of energy & economic statistics of Indonesia*. https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-and-economic-statistics-of-indonesia-2018-final-edition.pdf

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Palinski, M. (2017). *A comparison of electric vehicles and conventional automobiles : Costs and quality perspective* [Yrkeshögskolan Novia]. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/133032/BA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pero, F. Del, Delogu, M., & Pierini, M. (2018). Life cycle assessment in the automotive sector: A comparative case study of Internal Combustion Engine (ICE) and electric car. *Procedia Structural Integrity*. https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.066

PLN. (2019). *Statistik PLN 2019*. https://web.pln.co.id/statics/uploads/2020/11/Statistik-Indonesia-2019.pdf

Subekti, R. A., Sudibyo, H., Susanti, V., Saputra, H. M., & Hartanto, A. (2014). *Peluang dan tantangan pengembangan mobil listrik nasional*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).

Tabeta, S. (2020). *China plans to phase out conventional gas-burning cars by 2035*. https://asia.nikkei.com/Business/Automobiles/China-plans-to-phase-out-conventional-gas-burning-cars-by-2035

The World Bank. (2017). *CO2 emissions (kt) - Indonesia*. https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT?end=2016&locations=ID&start=2007 diakses pada 22 Januari 2021

Un-Noor, F., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Mollah, M. N., & Hossain, E. (2017). A comprehensive study of key electric vehicle (EV) components, technologies, challenges, impacts, and future direction of development. *Energies*. https://doi.org/10.3390/en10081217

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB XV

Smart City dalam Pengembangan Energi Terbarukan dan Berkelanjutan di Indonesia

Parman

A. Perlunya *Smart City*

Smart city merupakan istilah dalam bahasa Inggris untuk kota yang memiliki fasilitas memadai dari aspek teknologi, infrastruktur, dan sumber daya manusia. Berbicara tentang *smart city*, hal tersebut memiliki kaitan erat dengan perkembangan teknologi informasi. *Smart city* adalah wilayah perkotaan yang memenuhi kriteria dari segi lingkungan, kebutuhan energi, dan integrasi semua sistem yang rumit serta memudahkan untuk evaluasi sebagai upaya peningkatan kualitas.

Ada beberapa indikator yang menjadikan kota layak disebut *smart city* dengan memastikan tersedianya kondisi seperti berikut ini:

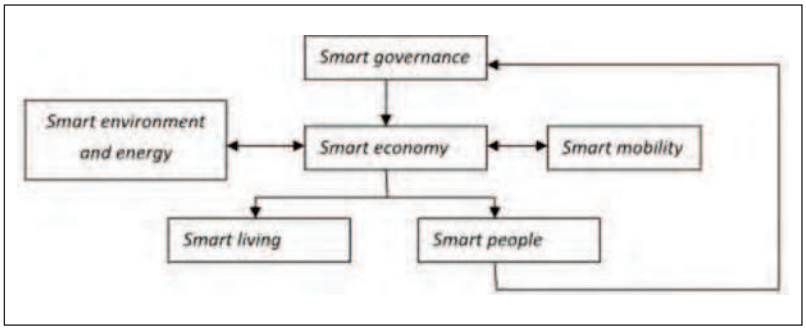
1. Kompetitif ekonomi, inovatif industri, produktivitas tinggi, tersedia lapangan pekerjaan secara luas, terhubung dengan pergaulan internasional, dan bisnis yang memperhatikan lingkungan (*smart economy*);
2. Interaksi antara warga kota yang terbuka terhadap perubahan positif dalam pergaulan kosmopolitan, pendidikan yang merata,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

bertoleransi, dan memastikan hidup rukun satu dengan yang lain (*smart people*);

3. Perpolitikan negara yang stabil, terbuka, dan memudahkan warga dalam mengurus administrasi ke pemerintah melalui penerapan teknologi (*smart governance*);
4. Ketersedian informasi dan komunikasi teknologi serta teknologi mutakhir dalam sistem transportasi yang berkelanjutan (*smart mobility*);
5. Memperhatikan standar lingkungan dan energi yang ramah lingkungan serta memudahkan masyarakat dalam menerapkannya (*smart environment and energy*);
6. Peningkatan kualitas hidup, budaya terjaga, infrastruktur kesehatan yang memadai, dan keamanan yang terkendali dengan baik (*smart living*).

Integrasi semua sistem yang rumit menjadi sebuah keharusan dalam membangun kota yang layak disebut *smart city*. Kebutuhan akan transportasi yang dapat diakses secara mudah melalui media-media elektronik menjadi sebuah tuntutan. Pengendalian efek negatif terhadap lingkugan dari aktifitas kota, terutama penurunan kadar CO, CO_2, Nox, dan CH_4 dari udara. Sistem audit energi yang bisa diakses oleh semua kalangan sebagai bentuk keterbukaan publik untuk me-



Sumber: Tay dkk. (2018)

Gambar 15.1 Model *Smart City*

Buku ini tidak diperjualbelikan.

nilai dan mengevaluasi kinerja kota dalam pemenuhan kebutuhan hidup penduduknya. Dalam tulisan ini akan lebih dalam membahas tentang pengembangan *smart city* yang terintegrasi dengan sumber energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Indeks *smart city* adalah cara untuk membuat *ranking* dan mengevaluasi *smart city* sebagai acuan pengembangan berkelanjutan. Menurut IMD (t.t.), dari 109 kota yang diobservasi, urutan pertama dimenangkan oleh *Singapore city* dengan *smart city rating* AAA, sementara itu Jakarta berada di urutan ke-94 dengan *smart city rating* C dan mengalami penurunan performa dengan pengurangan skor -13 bahkan jika dibandingkan kota-kota di negara ASEAN, seperti Hanoi Vietnam yang menempati urutan ke-84, Bangkok Thailand urutan ke-74, Kuala Lumpur Malaysia berada di urutan ke-54, dst. Indonesia butuh berbenah lebih baik lagi untuk mengejar ketertinggalannya.

Salah satu indikator untuk meningkatkan performa *smart city* adalah bagaimana memanfaatkan sumber energi yang ramah lingkungan dan terintegrasi dengan *power plant* (pembangkit listrik) yang tersedia. Energi terbarukan di Indonesia memiliki potensi yang belum dimanfaatkan secara maksimal, seperti energi matahari, energi air, dst. Untuk meningkatkan ketersedian energi di masa yang akan datang, diperlukan sistem energi hibrida yakni perpaduan antara energi fosil dan energi terbarukan. Sistem energi hibrida membutuhkan sistem jaringan listrik pintar yaitu jaringan penyaluran listrik ke konsumen yang terintegrasi dengan teknologi informasi dan komunikasi dalam mendeteksi perubahan beban listrik konsumen untuk menjadi bahan evaluasi peningkatan pelayanan dan ketersediaan tenaga listrik. Infrastruktur sistem jariangan listrik pintar menjadi syarat utama dalam mengelola energi yang berkelanjutan di s*mart city*. Jaringan listrik pintar dan sistem energi hibrida merupakan kesatuan sistem yang tidak bisa terpisahkan dalam mengembangkan sumber energi yang berkelanjutan. Terlebih ketika membangun pembangkit listrik dari energi terbarukan, kedua sistem tersebut menjadi persyaratan wajib.

Rencana pemindahan ibu kota Indonesia dari pulau Jawa ke pulau Kalimantan merupakan kesempatan terbaik untuk mening-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

katkan standar *smart city* di Indonesia. Letak geografis Kalimantan yang tepat berada di garis khatulistiwa memiliki potensi solar energi lebih besar dibanding dengan pulau-pulau lain di Indonesia. Panel surya telah berkembang sangat pesat, baik dari segi effisiensi kerja maupun penelitian dan pengembangannya (R&D). Di ibu kota baru ini berpotensi untuk dijadikan acuan bagi kota-kota yang lain dalam hal pengembangan sumber energi terbarukan. Di Kalimantan juga berpotensi untuk menjadikan *hydro-power storage* (penyimpanan listrik dengan sistem tenaga air) pengganti baterai karena memiliki cukup banyak sungai yang berkapasitas besar.

B. Transisi S*mart Energy*

Saat ini, sistem energi menghadapi tantangan, seperti sumber energi terbarukan yang intermiten, permintaan yang tinggi, dan upaya menurunkan emisi CO_2. Efisiensi dalam menyelesaikan masalah tersebut membutuhkan penyelesaian yang holistik, tidak bisa terpisah. Perubahan drastis diharapkan karena teknologi sistem energi sekarang tidak berkelanjutan dan bergantung kepada energi fosil. Perubahan ini disebut transisi energi untuk mendidik masyarakat agar menggunakan energi rendah emisi. Hal tersebut membutuhkan sumber energi terbarukan, penyimpanan energi yang stabil, dan jaringan listrik pintar (transmisi dan distribusi yang terintegrasi dengan *internet of thing*).

Sistem energi terdiri dari pembangkit, distribusi (transmisi), dan penyimpanan yang efisiensi dan penurunan emisi dalam setiap prosesnya bisa ditingkatkan dengan menerapkan teknologi *smart city*. Untuk pembangkit energi, sumber energi terbarukan yang terintegrasi dengan sumber energi utama dan dikontrol oleh *smart power controller* menjadi solusi terhadap energi terbarukan yang intermiten. Sementara itu, energi terbarukan skala kecil bisa dimanfaatkan untuk area perumahan dan perkantoran sebagai penyuplai listrik beban rendah. Jaringan listrik pintar mampu menyediakan informasi secara langsung (*real time*) dan interaktif tentang jumlah energi yang terbangkit dan energi yang digunakan. Sistem jaringan listrik pintar terdiri dari infrastruktur meter (pengukur energi konsumsi), sistem

Buku ini tidak diperjualbelikan.

penyimpanan energi, sistem cerdas pengelolaan energi, dan analisa *big data* yang bisa meningkatkan optimalisasi penggunaan energi sesuai kebutuhan serta meningkatkan kestabilan energi distribusi. Pola energi konsumsi dapat diobservasi melalui pengukuran cerdas dan data yang terkumpul bisa membantu dalam proses pengambilan keputusan jumlah energi yang dibutuhkan.

Tabel 15.1 Penggerak *Smart City* dalam Transisi

Penggerak *smart city*	Kontribusi ke transisi energi
Teknologi	Energi terbarukan Sistem jaringan listrik pintar
Komunitas	Inisiatif masyarakat di bidang energi Konsumsi energi Kebiasaan hemat energi
Kebijakan	Anggaran untuk R&D di bidang teknologi Peraturan dan regulasi untuk sistem energi

Sumber: Lim dkk. (2019)

Indeks transisi *smart energy* dapat dikembangkan berdasarkan indikator pada Tabel 15.2 dan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$\frac{1}{3}\{\frac{1}{2}(RE + SG) + \frac{1}{3}(CI + EB + EC) + \frac{1}{2}(RB + RR)\}$$

Indeks skor transisi *smart energy* perlu diperhatikan dalam mengembangkan *smart city* yang ramah lingkungan, khususnya di sektor energi. Dengan adanya informasi dasar, semua elemen bisa mengevaluasi perencanaan tata kota, pendidikan masyarakat, dan pembuatan regulasi dalam rangka membentuk sistem energi yang netral emisi karbon.

Netral emisi karbon atau *net-zero carbon emission* melibatkan semua pengguna energi untuk berkontribusi dalam mengembangkan energi bersih dengan mengevaluasi semua perusahaan di Indonesia tentang emisi yang dihasilkan dari kegiatan bisnis mereka. Selain itu,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

pemerintah membuat regulasi standar emisi yang diizinkan serta membebankan sejumlah pajak untuk perusahaan sesuai dengan emisi yang dihasilkan. Adapun yang melakukan audit tahunan tersebut adalah lembaga nonpemerintah, independen, dan profesional. Hasil audit sistem emisi yang dihasilkan tersebut dapat dijadikan acuan oleh

Tabel 15.2 Indeks Transisi *Smart Energy*

Dimensi	Kategori			Indikator	Satuan
Teknologi	Energi produksi dari energi terbarukan		RE	Data tiap provinsi terdiri dari jumlah kota yang membangkitkan energi dari energi terbarukan	TOE
	Smart grid dan smart storage	Sistem penyimpanan energi (ESS)	SG		
		Infrastruktur meter tingkat lanjut (AMI)		Jumlah proyek smart grid dan total ESS	kWh
				Jumlah instalasi AMI	unit
Komunitas	Inisiatif masyarakat di sektor energi		CI	Jumlah unit inisiatif masyarakat dalam menggunakan sumber energi terbarukan	unit
	Kebiasaan hemat energi		EB	Rata-rata kebiasan dalam menghemat energi	skor
	Konsumsi energi		EC	Jumlah energi konsumsi	MWh
Kebijakan	R&D anggaran di bidang pengembangan energi sistem teknologi		RB	Persentase anggaran APBN	%
	Aturan dan regulasi		RR	Jumlah kebijakan di masing-masing provinsi dan nasional di bidang sektor energi	unit

Sumber: Lim dkk. (2019)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

pemangku kebijakan untuk menarik pajak ke perusahaan. Pendapatan pajak khusus dari emisi ini sebagai anggaran untuk mentransformasi sumber energi nasional.

Energi netral artinya energi terbarukan sebagai kompensasi kekurangan dari pembangkit energi fosil. Masyarakat, pemerintah, dan pengusaha bekerja sama dalam memenuhi kebutuhan energi di masa yang akan datang serta tidak lagi membangun sumber energi fosil, melainkan berupaya berinvestasi ke sumber-sumber energi terbarukan sehingga target tahun 2045 energi bersih bukan hanya sekedar wacana nasional, tetapi sebuah ambisi yang serius untuk digapai oleh semua elemen yang terlibat, baik dari akademisi, praktisi, masyarakat, pemerintah, dan pengusaha.

C. Pemanfaatan Energi Surya di Indonesia

Lebih dari setengah populasi dunia sekitar 3,5 miliar orang tinggal di kota. Di tahun 2050, diperkirakan jumlahnya meningkat hingga sekitar 6,5 miliar orang berada di kota. Menurut IRENA (2019), ada sekitar 60–80% dari konsumsi energi global yang berpusat di kota-kota. Tantangannya adalah infrastruktur lama memiliki efisiensi sangat rendah, jauh di bawah rata-rata. Dibutuhkan sentuhan teknologi terbaru untuk meningkatkan efisiensi infrastruktur tua. Kebijakan pemerintah dalam mengeluarkan kebijakan tata kota yang mendukung aplikasi energi terbarukan bisa menjadi solusi untuk infrastruktur yang efisiensi kerjanya sudah menurun. Dengan aplikasi energi terbarukan yaitu sistem energi hibrida untuk menyuplai kebutuhan energi pada infrastruktur yang performanya sudah menurun akan mngurangi konsumsi energi di kota-kota, seperti Jakarta, Bandung, Yogyakarta, dan Surabaya.

Pembangkit listrik dengan panel surya bisa diaplikasikan sesuai dengan kebutuhan konsumen atau dalam skala besar. Beberapa provinsi sudah terpasang solar panel sentralisasi dengan kapasitas megawatt yang langsung terhubung dengan jaringan pembangkit listrik negara (PLN). Permasalahannya adalah belum masifnya penggunaan panel surya di masyarakat sekitar yang disebabkan oleh regulasi dan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

tata kelola daya yang belum jelas pembagiannya. Persentase subsidi ketika panel surya terpasang masih belum dipahami secara penuh oleh sebagian besar masyarakat. Hal tersebut penting diperhatikan oleh pemangku kebijakan dalam rangka mendukung regulasi yang dikeluarkan oleh pemerintah tentang komposisi energi nasional dengan target 23% di tahun 2025. Bahkan, nanti di tahun 2045, Indonesia sudah mulai meninggalkan energi fosil sebagai upaya mewujudkan rencana strategis nasional di bidang energi yang berkelanjutan. Mulai dari sekarang, pemerintah harus memperjelas subsidi panel surya bagi masyarakat yang memasang di rumah-rumah mereka sebagai bentuk dukungan nyata untuk mewujudkan energi bersih nasional di tahun 2045.

D. *Smart Charging* Infrastruktur Kendaraan Listrik

Upaya untuk mengurangi emisi yang berasal dari transportasi, seperti pesawat, kapal, mobil, bus, dan kereta api terus diupayakan untuk dikurangi. Salah satu solusi untuk mengurangi emisi di sektor transportasi adalah dengan mengubah sumber energi dari alat transportasi tersebut. Jakarta sudah mulai berbenah dengan membangun *mass rapid transit* (MRT). Meskipun sumber energi listrik dari alat transportasi tersebut masih berasal dari energi fosil, setidaknya model transportasi listrik sudah mulai diperkenalkan secara luas.

Menurut Seba (2014), penulis buku transisi energi, menyebutkan "sebentar lagi mobil-mobil yang menggunakan bahan bakar akan tergantikan oleh mobil-mobil listrik". Dia memberikan contoh awal-awal kendaraan berkembang di amerika pertama kali didominasi oleh kuda. Kemudian, dalam waktu singkat, kuda tergantikan oleh mobil listrik. Seiring ditemukan energi fosil seperti bensin dan solar, mobil listrik tergantikan oleh mobil bensin dan solar karena harga bahan bakar fosil yang masih murah pada saat itu. Namun sekarang, bahan bakar fosil sudah mulai mahal dan sebentar lagi diprediksi akan habis sehingga mau tidak mau, mobil yang menggunakan bahan bakar harus digantikan oleh mobil-mobil listrik.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Mengamati transisi transportasi dari bahan bakar fosil menjadi listrik, kita bisa menarik kesimpulan akan pentingnya mempersiapkan infrastruktur untuk pengisian daya (*charging)*. Beberapa peneliti telah berusaha mempersiapkan model-model stasiun pengisian daya (*charging station*) untuk menghadapi perubahan transportasi di masa yang akan datang. Inilah beberapa model *charging station* yang sudah dikembangkan. *Slow charger,* jenis ini memiliki maksimal daya 22 KW yang biasanya digunakan untuk peralatan rumah dan kantor dengan proses pengisian daya baterai mobil listrik yang lambat (*slow charging*) dan terhubung dengan jaringan listrik dalam waktu yang cukup lama. *Fast charger, j*enis ini memiliki maksimal daya 50 KW dan menggunakan listrik arus searah (DC) serta biasanya terpasang di infrastruktur jalan seperti di Paris Belib. *Ultra-fast charger*, jenis ini memiliki daya di atas 150 KW dan jenis ini masih dalam R&D yang sebentar lagi akan hadir di pasar menjadi solusi untuk mobil-mobil listrik masa depan ketika sudah dipasarkan secara luas.

Untuk meningkatkan performa *smart city* di Indonesia, alangkah baiknya mengadopsi beberapa model pengembangan transportasi di negara maju yang lebih rendah karbon dari sebelumnya. Sebagian besar negara maju sudah mulai mengganti mobil pembakaran dalam menjadi mobil listrik. Di Eropa misalkan, sudah mulai memperbanyak anggaran untuk penelitian di bidang kendaraan listrik. Sebagian kota di Eropa sudah menerapkan transportasi yang tenaga penggeraknya dari listrik saja. Kelebihan dari mobil listrik adalah tidak bising dan lebih mudah perawatan serta lebih cocok untuk terintegrasi dengan sumber-sumber energi terbarukan, seperti energi surya yang sangat cocok untuk menjadi sumber energi pengisian daya mobil listrik.

Ketersedian infrastruktur pengecasan mobil listrik merupakan salah satu indikator kesiapan Indonesia membangun transportasi dan energi yang berkelanjutan. Dengan mempersiapkan stasiun pengisian daya, secara tidak langsung mempromosikan supaya masyarakat segera beralih dari kendaran emisi tinggi ke kendaraan emisi rendah. Kita bisa mengatakan hampir tidak ada emisi yang dihasilkan oleh mobil listrik. Dengan kata lain, mobil listrik adalah solusi utama dari

Buku ini tidak diperjualbelikan.

kebisingan di kota-kota, polusi udara yang terus meningkat secara cepat, dan konsumsi bahan bakar fosil yang tidak terkendalikan dengan baik.

Integrasi mobil listrik dan energi terbarukan menjadi terlihat mungkin diaplikasikan ketika sudah tersedia sarana infrastruktur stasiun pengisian daya. Solar energi dan energi angin memiliki potensi yang cukup besar di Indonesia untuk dikembangkan serta dikombinasikan dengan kendaraan listrik. Kebijakan pemerintah dalam penerapan mobil listrik yang terintegrasi dengan energi bersih dibutuhkan secepatnya untuk dibahas dan dibuat menjadi rancangan strategis dalam pengembangan *smart city*. Ibu kota baru yang akan berlokasi di Kalimantan adalah model prototipe yang ideal untuk dijadikan sebagai contoh model kota energi bersih. Anggaran penelitian di bidang energi keberlanjutan perlu ditingkatkan sebagai bentuk usaha untuk mendukung keberhasilan pengembangan model *smart city* yang ramah lingkungan, bersih dari emisi gas buang kendaraan, dan terbebas dari bahan bakar fosil.

E. Rekomendasi Energi Netral dan Peningkatan Ketahanan Energi

Smart city tidak bisa berfungsi tanpa energi yang memadai dan berkelanjutan. Jika kota mengandalkan bahan bakar fosil dalam membangkitkan energi, suatu saat akan mengundang bencana besar untuk keberlanjutan sistem energi kota tersebut. Sistem energi netral maksudnya adalah sistem energi yang memanfaatkan potensi-potensi energi terbarukan yang ada di sekitar lokasi kota berdiri dengan membuat sistem hibrida antara sumber cadangan dari energi terbarukan dengan sumber energi fosil. Sistem energi netral akan membantu kota untuk mentransformasi sistem energinya menjadi rendah karbon atau setidaknya membantu kota tidak meningkatkan emisi gas buang. Jika hal ini bisa diterapkan di kota-kota, kita bisa membangun kota dengan cadangan energi yang berkelanjutan. Kearifan lokal adalah bahasa lain dari energi netral untuk menyeimbangkan kebutuhan energi di kota-kota yang bersumber dari potensi alam sekitar.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Untuk membentuk infrastruktur dan gedung-gedung di kota lebih efisien energi dapat menggunakan *the new stepped strategy*. Langkah pertama yang dilakukan adalah memahami dengan baik rancangan dari kota tersebut dengan memperhatikan beberapa faktor, seperti cuaca, tanah, material bangunan, dan jumlah pengguna sebelum mengurangi permintaan energi. Langkah kedua, asumsi kota tersebut belum tersentuh teknologi dan mencoba mencari alternatif sumber energi, misalkan dengan penggunaan *waste heating recovery* yang bisa memanfaatkan pembuangan kalor menjadi energi yang bermanfaat. Langkah ketiga, permintaan energi terbaru disuplai oleh sumber energi terbarukan. Urutan langkah tersebut sesuai dengan kondisi dan situasi kota yang akan dibuat agar menjadi kota dengan sistem energi netral. Menurut Tillie dkk. (2009), strategi tersebut telah diaplikasikan di berbagai kota dalam program *the Rotterdam Energy Approach and Planning* (REAP), lebih khususnya untuk mempromosikan pertukaran energi (*energy exchange*) antara provinsi dan level kabupaten kota.

Melalui tahapan tersebut, sistem energi di kota bisa lebih rendah karbon karena energi hilang yang tidak dimanfaatkan dari

Sumber: Tillie dkk. (2009)

Gambar 15.2 Strategi Penerapan Energi Netral

Buku ini tidak diperjualbelikan.

gedung, seperti di supermarket, perkantoran, restoran, dan hotel, lalu didaur ulang dan kemudian dievaluasi lebih detail kebutuhan energi berdasarkan penggunaan peralatan oleh konsumen. Dengan menggunakan teknologi *energy recovery* dari sistem yang ada, akan mengurangi permintaan energi dari pengguna. Di samping itu juga, dibutuhkan sistem audit energi untuk mengobservasi dan menganalisis peluang pemanfaatan energi pada sistem yang sudah ada. Untuk menyukseskan strategi ini, dibutuhkan kebijakan dari pemerintah untuk membuat regulasi standar sertifikasi bangunan di perkotaan, khususnya *smart city*.

REFERENSI

IMD. (t.t.). *Singapore, Helsinki and Zurich triumph in global smart city index*. https://www.imd.org/smart-city-observatory/smart-city-index/

IRENA. (2019). *Electric-vehicle smart charging - Innovation landscape brief*. https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_EV_smart_charging_2019.pdf

Lim, Y., Edelenbos, J., & Gianoli, A. (2019). Smart energy transition: An evaluation of cities in South Korea. *Informatics*. https://doi.org/10.3390/informatics6040050

Seba, T. (2014). *Clean disruption of energy and transportation : how Silicon Valley will make oil, nuclear, natural gas, coal, electric utilities and conventional cars obsolete by 2030* (first edit). Clean Planet Ventures.

Tay, K.-C., Supangkat, S. H., Cornelius, G., & Arman, A. A. (2018). The SMART initiative and the garuda smart city framework for the development of smart cities. *2018 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS)*.

Tillie, N., van den Dobbelsteen, A., Doepel, D., Joubert, M., de Jager, W., & Mayenburg, D. (2009). Towards CO2 neutral urban planning: Presenting the rotterdam energy approach and planning (REAP). *Journal of Green Building*. https://doi.org/10.3992/jgb.4.3.103

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB XVI
Penutup

Sindu Daniarta & Nuralfin Anripa

Sustainable Development Goals (SDGs), Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), pembangunan nasional, dan Indonesia Emas Berkelanjutan merupakan pokok-pokok bahasan yang perlu dipersiapkan untuk mewujudkan generasi berikutnya yang maju dan mandiri. Dalam bab-bab sebelumnya telah dijelaskan dinamika energi, kebijakan energi, energi berkelanjutan dan beberapa macam sumber potensi yang dapat dimanfaatkan Indonesia untuk mendukung pembangunan Indonesia Emas Berkelanjutan. Perlu diingatkan kembali bahwa buku ini hadir untuk memberikan pandangan dan gambaran umum yang mudah untuk dipahami oleh pembaca dari berbagai latar belakang keahlian untuk menyongsong Generasi Emas 2045 terhadap penyediaan energi bersih dan terjangkau di Indonesia.

Terkait diskusi untuk arah studi lanjutan, kami mengajak pembaca untuk melihat kembali bagian rekomendasi pada bab-bab sebelumnya. Pada bagian bab penutup ini akan disampaikan penjelasan singkat mengenai *key finding* pada bab-bab sebelumnya yang terangkup pada tiga subtema besar.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dinamika Energi di Indonesia Saat Ini dan Masa Depan

Pemanfaatan dan pengelolaan energi ke lebih dari 17.000 pulau di Indonesia bukan perkara mudah, ditambah lagi jumlah penduduknya yang juga banyak. Keadilan, kedaulatan, dan kemandirian energi merupakan aspek penting erat kaitannya dengan pemenuhan dan permintaan energi. Dengan demikian, tentu sangat perlu untuk mengetahui dinamika energi di Indonesia saat ini dan visi keberlanjutan energi di masa depan. Kondisi tersebut sudah diulas pada Bab II–V, fokus membahas sumber daya fosil yang masih dominan dalam bauran energi total di Indonesia.

Pada Bab II dijelaskan bahwa pemenuhan energi di Indonesia perlu memperhatikan aspek-aspek terkait, seperti 1) rencana strategis terkait bentuk, sumber, dan cara memperoleh energinya, 2) perlunya tindakan mitigasi jika ingin beralih ke energi terbarukan, 3) ikut berpartisipasi dalam mendukung *Paris Agreement* untuk tindakan preventif dan penanggulanan dampak lingkungan, 4) serta memastikan akses energi yang terjangkau dan berkelanjutan seperti yang tertuang di *Sustainable Development Goals* (SDG). Poin-poin tersebut sangat penting untuk menentukan keberlanjutan energi di Indonesia pada tahun 2025–2050 mulai dari kebijakan, keadilan dalam konteks distribusi listrik dan transportasi, hingga produksi energi baik untuk konsumsi dalam negeri maupun sebagai komoditas ekspor. Tentunya pengelolaan ini perlu melibatkan semua elemen masyarakat, pihak swasta, dan para *stakeholders* dalam penyediaan energi, terutama listrik dan bahan bakar transportasi. Beberapa upaya pengembangan migas dijelaskan pada bab ini, salah satunya upaya eksploitasi dan peningkatan produksi migas dari sisi kualitas dan kuantitas perlu memperhatikan efektifitas dan jumlah permintaannya. Panas bumi yang notabene sumber energi yang bersih dan ramah lingkungan ini, juga tak kalah menarik untuk dikembangkan, baik itu secara *direct* atau *non-direct*. Tentunya, pengembangan-pengembangan tersebut harus diiringi dengan pengembangan kebijakan untuk melakukan harmonisasi dengan kegiatan di sektor lainnya.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Kaitannya dengan kebijakan yang ada di Indonesia, Bab IV mengulas terkait regulasi yang ada di Indonesia terkait migas dan batu bara yang mendominasi dalam bauran energi. Penjabaran kebijakan, peraturan pemerintah, undang-undang dihadirkan di buku ini untuk melihat gambaran umum mengenai kebijakan yang ada pada dinamika energi saat ini. Perlu digarisbawahi bahwa ulasan yang ada pada bab ini mengarah pada regulasi di sektor energi untuk mendorong *net-zero carbon*.

Seperti yang diketahui bersama bahwa batu bara masih sangat mendominasi bauran energi di Indonesia, tentunya menghadirkan peran *green mining* sangat menarik untuk diulas. Peran *green mining* ini sesungguhnya tidak hanya diaplikasikan pada batu bara, tetapi kegiatan tambang lainnya juga bisa menerapkan konsep ini. Beberapa dampak lingkungan dan sosial ekonomi dari aktivitas pertambangan ini secara umum dibahas, mulai dari menurunnya pH air, dampak debu, lubang bekas aktivitas pertambangan, dan konflik sosial ekonomi pada masyarakat di sekitar aktivitas pertambangan ini. Selain itu, pemanfaatan dan pengoptimalan batu bara sebagai energi alternatif lain seperti *coalbed methane* juga sangat menarik untuk dikembangkan di Indonesia karena potensi ini mampu menggantikan peran dari *liquefied petroleum gas* (LPG).

Teknologi Percepatan Energi Terbarukan dalam Bauran Energi Indonesia 2050

Saat ini, dunia sedang bergerak pada satu visi, yaitu penyediaan energi yang ramah lingkungan dan menekan emisi yang dihasilkan dari semua aktivitas industri. Kaitannya dengan hal ini, energi baru terbarukan hadir sebagai salah satu solusinya. Tentunya, energi baru terbarukan ini merupakan salah satu ambisi bersama yang tertuang pada Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) untuk tahun 2025 dan 2050. Namun, target-target yang dituangkan kondisinya masih sangat jauh dengan kondisi saat ini. Dengan demikian, dibutuhkan upaya percepatan energi baru terbarukan di Indonesia guna memenuhi target-target yang sudah ditetapkan. Beberapa *key point* mengenai upaya percepatan energi terbarukan ini diulas pada Bab VI–XV.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Bab VI menjelaskan ekosistem energi baru terbarukan di Indonesia. Perlunya menengok perkembangan pasar energi dunia untuk membentuk mata rantai ekonomi berbasis energi terbarukan baik itu melalui terbentuknya perusahaan jasa atau produsen. Potensi pembuatan ekosistem energi ini di Indonesia masih sangat terbuka lebar karena potensi energi baru terbarukan sangat melimpah. Hal ini juga dijelaskan di Bab VII dan IX mengenai potensi sumber daya angin, matahari, dan pemanfaatannya untuk sistem hibrida.

Diskusi mengenai energi nuklir sebagai energi baru juga tak kalah menariknya, telah disebutkan di Bab VII bahwa Indonesia memiliki sumber uranium yang cukup melimpah. Namun, energi nuklir ini masih menuai pro dan kontra di masyarakat. Kunci dari energi nuklir ini yaitu bagaimana cara mengedukasi masyarakat bahwa nuklir itu aman dan bersih, serta penanganan *nuclear waste management* juga tidak membahayakan. Alternatif penanganan limbah radioaktif ini sudah dibahas, terlebih lagi penangannya yang mengadopsi dari negara maju juga dijelaskan seperti teknik *chirped pulse amplification*.

Pada Bab X dijelaskan mengenai *biofuel* pada bauran energi di Indonesia. Pemanfaatan energi *biofuel* ini sangat menjanjikan karena dapat menjadi alternatif bahan bakar fosil yang diproduksi dari pertanian atau perkebunan. Berbagai potensi bahan baku *biofuel* ini sudah dijelaskan secara umum, mulai dari kelapa sawit, tebu, kelapa, sekam pagi, jagung, singkong, dan sampah kota. Tak hanya itu, teknologi-teknologi produksinya pun juga sudah dideskripsikan mulai dari perekahan termal, *hydrocracking,* dan perekahan katalis. Tentunya *biofuel* ini sangat menjanjikan untuk dikembangkan di Indonesia karena diklaim menjadi sumber bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan memiliki peluang besar dalam bauran energi bersih Indonesia.

Di samping potensi pemanfaatan sumber daya angin, matahari, air, dan nuklir di Indonesia, pemanfaatan *waste-to-energy* sebenarnya juga dapat dilakukan mengingat dalam satu siklus ekonomi sirkular, *waste* dapat dimanfaatkan dan diolah kembali. Bahasan ini diulas pada Bab XI. Penerapan paradigma ekonomi sirkular ini juga perlu

Buku ini tidak diperjualbelikan.

mengadopsi manajemen dan pengelompokan *waste* itu sendiri. Untuk mewujudkan ekonomi sirkular ini, perlu dimahami hubungan antara etika lingkungan, energi terbarukan, *recovery*, dan *recycling*. Teknologi *waste-to-energy* ini sangat bermanfaat sekali untuk diterapkan karena mempunyai dua tujuan yaitu peningkatan *waste management* dan pemanfaatannya sebagai produksi energi (listrik).

Bahasan terkait energi terbarukan tentunya tidak lengkap jika tidak mengulas terkait komponen pendukung. Komponen pendukung pada energi terbarukan yaitu terkait sistem penyimpanan energi atau baterai yang dibahas pada Bab XII dan XIII. Adapun poin penting yang dapat diambil pada bab tersebut yaitu gambaran umum mengenai baterai dan jenisnya, perkembangan baterai, serta teknologi *power-to-gas*. Skema *power-to-gas* ini sangat penting mengingat proyeksi kebutuhan gas juga akan masih meningkat. Perbandingan baterai dan *power-to-gas* juga dijelaskan, yang mana teknologi tersebut ternyata saling melengkapi.

Percepatan Energi Terbarukan untuk *Smart City*

Salah satu konsumsi energi ialah dari sektor transportasi yang konsumsinya masih didominasi oleh bahan bakar minyak (BBM). Banyak upaya yang perlu dilakukan untuk menekan konsumsi bahan bakar ini. Energi terbarukan salah satu solusinya, tetapi banyak tantangan yang dihadapi, di mana listrik merupakan komoditas utama pada produk ini. Dengan demikian, transportasi dengan energi listrik merupakan salah satu alternatif yang perlu dikaji lebih mendalam lagi. Pada Bab XIV sudah dijelaskan mengenai gambaran umum kendaraan listrik, peran, serta teknologinya. Kondisi kekinian mengenai kendaraan listrik di Indonesia juga dibahas, di mana banyak aspek masih perlu dikaji lebih dalam lagi, mulai dari kebutuhan dan kesediaan listrik, jaringan listrik, dan infrastruktur listrik. Selain itu, tantangan pengembangan kendaraan listrik ini juga menekankan pada beberapa aspek lainnya, seperti jarak tempuh mobil listrik, harga mobil listrik, isu ekonomi sosial, dan industri pendukung lainnya. Tak hanya kendaraan listrik/mobil listrik saja, tetapi perlunya *smart city* dengan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

pengembangan energi terbarukan di Indonesia juga sudah dibahas di Bab XV. Pada bab ini, poin penting untuk menjadikan kota disebut sebagai *smart city* yaitu dengan memastikan kondisi *smart economy, smart people, smart governance, smart mobility, smart environment and energy,* dan *smart living*. Energi baru terbarukan tergabung pada *smart environment and energy* sudah semestinya menjadi ujung tombak dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan, tentunya hal ini harus diimbangi berkontribusi penuh dalam melakukan transisi energi mulai dari penggerak teknologi, komunitas, dan kebijakan. Pada bab ini dijelaskan bagaimana peran *smart city* dan energi terbarukan berdampingan sehingga dapat dilakukannya integrasi antara sektor satu dengan lainnya.

Rekomendasi dan Kesimpulan Umum

Jika ingin melihat lebih jauh dan diskusi lebih lanjut, rekomendasi-rekomendasi sudah disampaikan pada akhir setiap bab pada buku ini. Pada subbab ini akan dijelaskan rekomendasi secara umum, antara lain:

1. Perlunya mempertimbangkan tingkat kesiapan masyarakat untuk melakukan peralihan sumber energi menuju energi bersih dan terjangkau.
2. Perlunya melakukan kajian lebih komprehensif dengan memperhatikan karakteristik geografis, demografis, dan pasar energi, tujuannya agar semua daerah mendapatkan akses energi yang sama.
3. Penguasaan ilmu dan teknologi melalui sumber daya manusia yang kompeten.
4. Pemanfaatan minyak dan gas yang difokuskan untuk penyediaan konsumsi nasional terlebih dahulu.
5. Perlunya melakukan kajian secara komprehensif untuk pemanfaatan panas bumi secara lebih efektif dan efisien, baik itu secara langsung maupun tidak langsung.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

6. Membangun kolaborasi riset unggulan dengan institusi nasional maupun international terkait pemanfaatan panas bumi di Indonesia dikarenakan Indonesia memiliki potensi yang sangat besar sekali di atas *Ring of Fire*.
7. Melakukan harmonisasi kebijakan energi dengan sektor-sektor lainnya serta menyelaraskan dengan visi nasional dan visi global dalam komitmen menurunkan emisi global.
8. Melakukan pengoptimalan pada sektor pertambangan khususnya batu bara yang harus memperhatikan dan menitikberatkan pada aspek ramah lingkungan untuk mewujudkan *zero emission*.
9. Pengoptimalan dan perlunya kajian secara komprehensif untuk pemanfaatan batu bara sebagai sumber energi yang lebih bersih.
10. Meningkatkan pertumbuhan produksi energi dari energi baru terbarukan serta melakukan keterbukaan informasi mengenai potensi, risiko, dan mitigasi yang dihadapi.
11. Melakukan penyelarasan antara bisnis energi baru terbarukan dengan energi fosil baik itu dari sisi ekonomi, kebijakan dan infrastruktur untuk menciptakan ekosistem energi baru terbarukan yang lebih segar lagi.
12. Melakukan edukasi kepada masyarakat bahwa nuklir itu aman, pengelolaan limbah yang aman dan terjamin, sehingga pada akhirnya masyarakat dapat menerima pengembangan nuklir di Indonesia.
13. Pengembangan nuklir di Indonesia juga perlu peningkatan sumber daya manusia yang lebih unggul dan berkompeten di bidang ini secara menyeluruh.
14. Perlunya dibangun integrasi energi berbasis energi matahari, angin, atau sistem hibrida, serta memberikan insentif untuk mendorong investasi di bidang ini. Tentunya, proyek ini harus berkelanjutan dan berbasis *empowerment* sehingga masyarakat juga punya andil untuk rasa memiliki dan merawat agar masa hidup teknologi semakin lama.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

15. Mendukung keberlangsungan komponen pendukung pada sektor energi terbarukan seperti *internet of things* untuk menciptakan *smart system* yang lebih efektif dan efisien.
16. Melakukan standarisasi dan diversifikasi sumber bahan bakar transportasi menggunakan *biofuel.*
17. Melakukan pengembangan dan optimalisasi sumber bahan bakar *biofuel* serta melakukan kajian komprehensif yang berkaitan dengan sektor lainnya seperti pertanian, perkebunan, dan lingkungan hidup.
18. Melakukan kajian lebih komprehensif terhadap aspek teknologi, lingkungan hidup, sosial dan budaya untuk penerapan *waste-to-energy,* serta memberikan wawasan terkait pentingnya paradigma ekonomi sirkular dan etika lingkungan.
19. Melakukan integrasi infrasuktur, manajemen limbah, klasifikasi limbah, dan jaringan listrik, serta harmonisasi kebijakan dalm kontek *waste-to-energy.*
20. Melakukan efektifitas perencanaan utilisasi baterai di Indonesia.
21. Melakukan kajian lebih komprehensif terkait baterai sebagai komponen pendukung utama dalam percepatan energi terbarukan di Indonesia serta melakukan kolaborasi riset unggulan dengan lembaga-lembaga nasional maupun internasional.
22. Mempertimbangkan masyarakat dan dampak lingkungan jika melakukan pendirian manufaktur atau pertambangan seperti litium, dan nikel.
23. Melakukan integrasi sistem energi terbarukan, sistem baterai dan sistem *power-to-gas* untuk menciptakan suatu proses yang lebih efektif, efisiensi, dan unggul.
24. Penerapan integrasi teknologi energi perlu juga memperhatikan terkait peluang bisnis, pembukaan lapangan pekerjaan untuk masyarakat Indonesia, dampak lingkungan dan ekonomi.
25. Pembangunan infrastuktur utama dan pendukung kendaraan listrik/mobil listrik perlu dilakukan secara serius dan komprehensif,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

tentunya hal ini berkaitan dengan strategi produki energi yang lebih bersih dan terjangkau, pengisian daya lebih lebih cepat, titik pengisian daya, dan sisi keekonomian dari bisnis ini.

26. Melakukan integrasi energi yang masif dan melakukan kajian komprehensif untuk mewujudkan *smart city.*

Perlu disadari bahwa keberhasilan penyediaan energi bersih, terjangkau, dan berkelanjutan juga dihasilkan berkat adanya dukungan sektor terkait lainnya yaitu masyarakat termasuk seluruh *stakeholders*. Pemikiran-pemikiran yang dituangkan pada buku ini semata-mata sebagai wujud dukungan demi terciptanya Indonesia Emas Berkelanjutan 2045. Kami yakin bahwa Indonesia mampu mengelola sumber dayanya sendiri melalui teknologi-teknologi yang sudah dijelaskan serta peningkatan ekosistem bisnis yang baik demi membantu menyukseskan program percepatan penyediaan energi bersih dan terjangkau untuk Mewujudkan Indonesia Emas Berkelanjutan 2045. Diharapkan penyediaan energi bersih dan terjangkau nantinya akan lebih terarah dan terencana dalam mencapai target bauran energi yang sudah ditetapkan untuk 2025 dan 2050.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Daftar Singkatan

3T	:	Terdepan, Terluar, Tertinggal
A	:	Ampere
AC	:	*Alternating Current*
Ah	:	*Ampere hour*
AI	:	*Artificial Intelligence*
ANG	:	*Adsorbed Natural Gas*
APBN	:	Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara
Apronuki	:	Perkumpulan Profesi Nuklir Indonesia
ASEAN	:	Association of South-East Asian Nation
B3	:	Bahan Berbahaya dan Beracun
B4T	:	Balai Besar Bahan dan Barang Teknik
BATAN	:	Badan Teknologi Nuklir Nasional
BAU	:	*Business as Usual*
BBM	:	Bahan Bakar Minyak
BBN	:	Bahan Bakar Nabati
BBTUD	:	*Billion British thermal unit per day*
BEV	:	*Battery Electric Vehicle*
BMR	:	*Base Metal Refinery*
Bph	:	Barel per hari

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BPPT	:	Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
BPS	:	Badan Pusat Statistik
BScf	:	*Billion standard cubic feet*
BSN	:	Badan Standardisasi Nasional
BUMN	:	Badan Usaha Milik Negara
BUMS	:	Badan Usaha Milik Swasta
BUR	:	*Biennial Update Report*
CAES	:	*Compressed Air Energy Storage*
CBM	:	*Coal Bed Methane*
cc	:	*Cubic centimeters*
CH_4	:	Metana
CO	:	Karbon monoksida
CO_2	:	Karbon dioksida
COP21	:	*Conference of parties*
CPA	:	*Chirped pulse amplification*
CPO	:	*Crude palm oil*
CSR	:	*Corporate social responsibility*
DAS	:	Daerah Aliran Sungai
DEN	:	Dewan Energi Nasional
DME	:	*Dimethyl Ether*
DRS	:	Pemulihan tertunda
EBT	:	Energi Baru Terbarukan
EBTKE	:	Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi
EMU	:	*Energy management unit*
EOR	:	*Enhanced oil recovery*
ERU	:	*Energy Refueling Unit*
ESDM	:	Energi dan Sumber Daya Mineral
ESS	:	*Energy systems and solutions*
EU ETS	:	European Comission Emission Trading System
FED	:	*Final Energy Demand*

Buku ini tidak diperjualbelikan.

FEED	:	*Front end engineering design*
GIS	:	*Geographic Information System*
GMB	:	Gas metana batu bara
GRK	:	Gas rumah kaca
$GtCO_2e$	:	Giga ton karbon dioksida ekuivalen
GW	:	*Gigawatt*
GWh	:	*Giga watt hours*
HHS	:	*Hybrid home system*
HLW	:	*High-level radioactive waste*
HP	:	*Horse Power*
HPAL	:	*High-Pressure Acid Leaching*
IAEA	:	International Atomic Energy Agency
ICCT	:	International Council on Clean Transportation
ICEV	:	*Internal Combustion Engine Vehicle*
IDDP	:	*Iceland Deep Drilling Project*
IEA	:	International Energy Agency
IFO	:	*Injection fall test*
ILW	:	*Intermediate-level radioactive waste*
IMD-SUTD	:	The Institute for Management Development and The Singapore University of Technology and Design
INDC	:	*Intended Nationally Determined Contributions*
Inpres	:	Instruksi Presiden
IoT	:	*Internet of thing*
IRENA	:	International Renewable Energy Agency
IUP	:	Izin Usaha Pertambangan
KEN	:	Kebijakan Energi Nasional
KESDM	:	Kemeterian Energi dan Sumber Daya Mineral
km	:	Kilo meter
KOH	:	*Kalium Hidroksida*
KUBE	:	Kebijakan Umum Bidang Energi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

kVA	:	*Kilovolt ampere*
KW	:	*Kilo watt*
KWh	:	*Kilowatt-hour*
LAPAN	:	Lembaga penerbangan dan antariksa nasional
LCO	:	$LiCoO_2$
LCOE	:	*Levelized cost of electricity*
LFB	:	$LiFeBO_3$
LFP	:	$LiFePO_4$
LIPI	:	Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
LLW	:	*Low-level radioactive waste*
LMO	:	$LiMn_2O_4$
LNG	:	*Liquefied natural gas*
LPG	:	*Liquified petroleum gas*
LTO	:	Li_2TiO_3
LUCF	:	*Land-use Change and Forestry*
LVP	:	$Li_3V_2(PO_4)_3$
MBOEPD	:	*Mega barrel oil equivalent per day*
MMBtu	:	*British thermal unit*
MMScfd	:	*Million cubic square feet per day*
MMSTB	:	*Million stock tank barrels*
MoU	:	*Memorandum of Understanding*
MT	:	*Mega ton*
MTOE	:	*Million tonnes of oil equivalent*
MTPA	:	*Million tonnes annum*/juta ton per tahun
MW	:	*Mega Watt*
MWe	:	*Mega watts electric*
MWh	:	*Mega watt-hour*
MWt	:	*Mega watts thermal*
NaOH	:	Natrium Hidroksida
NCA	:	*Nickel-cobalt-alumunium*

Buku ini tidak diperjualbelikan.

NCM	:	*Nickel-cobalt-manganese*
NDC	:	*Nationally determined contribution*
NOx	:	Nitrogen oksida
NPV	:	*Net present value*
O&M	:	*Operation and maintenance*
OEM	:	*Original equipment manufacturer*
OPEC	:	Organization of Petroleum Exporting Countries
PBB	:	Perserikatan Bangsa-Bangsa
PDB	:	Produk domestik bruto
Permen	:	Peraturan Menteri
Perpres	:	Peraturan Presiden
PHES	:	*Pump hydro energy storage*
PLN	:	Perusahaan Listrik Negara
PLTB	:	Pembangkit Listrik Tenaga Bayu
PLTD	:	Pembangkit Listrik Tenaga Diesel
PLTG	:	Pembangkit Listrik Tenaga Gas
PLTN	:	Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir
PLTP	:	Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi
PLTS	:	Pembangkit Listrik Tenaga Surya
PLTU	:	Pembangkit Listrik Tenaga Uap
PP	:	Peraturan Pemerintah
PRIS	:	*Power Reactor Information System*
PTBA	:	PT Bukit Asam
PtG	:	*Power-to-Gas*
R&D	:	*Research and development*
RAN	:	Rencana Aksi Nasional
RDE	:	Reaktor Daya Eksperimental
RPJP	:	Rencana Pembangunan Jangka Panjang
RUED	:	Rencana Umum Energi Daerah
RUEN	:	Rencana Umum Energi Nasional

Buku ini tidak diperjualbelikan.

RUKN	:	Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional
RUPTL	:	Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik
RWK	:	Rekomendasi wilayah kerja
SDA	:	Sumber daya alam
SDG	:	*Sustainable Development Goal(s)*
SDM	:	Sumber daya manusia
SDS	:	Pembangunan berkelanjutan
SHS	:	*Solar home system*
SKK Migas	:	Satuan Kerja Khusus Minyak dan Gas
SLO	:	Sertifikat layak operasi
SMES	:	*Superconducting Magnetic Energy Storage*
SPBG	:	Stasiun Bahan Bakar Gas Alam Terkompresi Tambahan
SPBKLU	:	Stasiun Penukaran Baterai Kendaraan Listrik Umum
SPKLU	:	Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum
SPLU	:	Stasiun Pengisian Listrik Umum
SR	:	Sambungan Rumah
SRI	:	*System of Rice intenssification*
SSR	:	*Self-sufficient ratio*
STEPS	:	*The state policies*
SUTET	:	Saluran udara tegangan ekstra tinggi
TOE	:	*Tonnes of oil equivalent*
TRU	:	*Transuranic*
UNESCAP	:	United Nations Economic and Social Commission for Asia and Pasific
UNFCCC	:	United Nations Framework Convention on Climate Change
USG	:	*Ultrasonography*
UUD	:	Undang-Undang Dasar
VA	:	*Volt Ampere*

Buku ini tidak diperjualbelikan.

VGL	:	*Vertical Gas Liquid*
VPLs	:	*Virtual Power Lines*
W	:	*Watt*
WK	:	Wilayah kerja

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Indeks

Baterai, 169, 171–74, 176, 177, 179, 181, 185, 193, 202, 207, 213, 215, 246
Batu bara, 18
Bauran energi, 10, 24, 108, 151, 184, 197
BBM, 5, 7, 15, 43, 72, 117, 137, 138, 140, 144, 148, 199, 200–02, 211, 215, 235, 241
BBN, 138, 139, 142, 144, 148, 241
Beban puncak, 204
Biodiesel, 142, 144, 146
Bioethanol, 143, 146, 151
Biofuel, 137–40, 144, 148

Cold energy, 171

Ekonomi sirkular, 155
Eksplorasi, 30, 40, 42
Energi netral, 225
Energi surya, 17, 120
EOR, 32, 42, 242

Etika lingkungan, 156
Gas bumi, 26, 42
Green mining, 67

Hibrida, 134

Katalis, 141, 145
Konsumsi energi, 79, 208, 223, 224

Migas, 25–32, 35, 41, 46–8, 50, 246
Mobil listrik, 202, 204, 210, 211

Net zero emission, 68
Nikel, 171, 179
Nuklir, 79, 93, 96, 99, 100, 106, 107, 108, 241, 245

Open pin mining, 61

Panas bumi, 37, 43, 112, 127, 232
Pascatambang, 66, 69

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Power-to-gas, 195

Radioaktif, 104
Reaktor, 98, 245
Recovery, 156
Recycle, 157, 158
Reklamasi, 51, 66, 74
RPJP, 111, 245
RUED, 113, 253
RUEN, 1, 9–12, 18, 19, 22, 33, 89, 93, 94, 107, 111, 113, 148, 231, 233, 245

Smart city, 219, 228
SPBKLU, 182, 213, 215, 216, 246
SPKLU, 182, 213, 215, 216, 246
SPLU, 203, 210, 213, 215, 216, 246

Transmutasi, 14
Transportasi, 13, 215
Turbin, 116

Underground mining, 62
Uranium, 99, 100, 103

Virtual power lines, 183

Waste, 65, 153–58, 160–63, 166, 167
Waste-to-energy, 158, 160
Wilayah kerja, 35, 247

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Biografi Editor

SINDU DANIARTA

Mendapatkan Sarjana Teknik Fisika dari Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta. Kemudian, ia juga mendapatkan *Master of Science* (M.Sc) *in Mechanical Engineering Modelling* dari Budapest University of Technology and Economics (BME), Hongaria dengan tesis *Suitable Technique and Working Fluid for Cold Energy Utilization in LNG Regasification System*. Saat ini, ia sedang menempuh studi doktoral *under cotutelle program in Environmental Engineering, Mining, and Energy* di Wrocław University of Science and Technology (WUST), Polandia dan *Mechanical and Energy Processes* di Budapest University of Technology and Economics, Hongaria. Selama proses studi, ia diamanahi menjadi Ketua di Komisi Energi, Direktorat Penelitian dan Kajian, Perhimpunan Pelajar Indonesia Dunia (PPI Dunia) untuk periode 2020–2021. Memiliki minat penelitian di bidang termodinamika, energi baru dan terbarukan, dan sistem siklus Rankine organik. Penulis dapat dihubungi melalui: sindu.daniarta@pwr.edu.pl

Buku ini tidak diperjualbelikan.

NURALFIN ANRIPA

Mendapatkan Sarjana Fisika dari Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim, Malang dengan tugas akhir dalam bidang fisika teoritik dan pernah melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di BATAN Yogyakarta. Kemudian, saat ini ia sedang melanjutkan studi program *Master of Science* (M.Sc) *in Ecology and Environmental Studies* di Nalanda University, India. Saat ini, ia diamanahi menjadi Wakil Ketua di Komisi Energi, Direktorat Penelitian dan Kajian, Perhimpunan Pelajar Indonesia Dunia (PPI Dunia) untuk periode 2020–2021. Amanah lainnya yang diemban adalah sebagai Ketua Departemen Kajian Strategis PPI India untuk periode 2020–2021. Ia memiliki minat penelitian di bidang lingkungan, energi baru dan terbarukan, nuklir, serta astrofisika. Penulis dapat dihubungi melalui: nuralfinanripa.sees20@nalandauniv.edu.in

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Biografi Penulis

PUTTY EKADEWI

Mendapatkan Sarjana Teknik Bioproses dari Universitas Indonesia, Depok (2020) dan Sarjana Bioteknologi dari Indonesia International Institute for Life Sciences (i3L) (2018). Kemudian, ia juga mendapatkan *Master of Science* (M.Sc) *in Microalgae Bioprocess Engineering* dari Polytech Nantes, Prancis (2019) dengan tesis *Biochemically-based structured modelling of photoacclimation response of C. vulgaris in dynamic PBR cultures*. Saat ini, ia sedang menempuh studi doktoral dengan fokus pada *the use of a novel photoenzyme for bio-based hydrocarbon production* di Laboratoire GEPEA, Université de Nantes, Prancis. Ketertarikannya dalam energi baru terbarukan dan berkelanjutan membuat ia turut serta berkontribusi aktif dalam penulisan buku ini. Penulis dapat dihubungi melalui: putty.ekadewi@univ-nantes.fr

Buku ini tidak diperjualbelikan.

REYHAN PUJI PUTRANTO

Mendapatkan Sarjana Kimia dari Universitas Indonesia, Jakarta. Kemudian, ia juga mendapatkan *Master of Science* (M.Sc) *in Chemistry* dari University of Ulsan, Korea Selatan. Penelitian yang telah diselesaikan selama masa studi bersinggungan terhadap sifat elektrokimia material organik dan material katoda baterai ion litium berbasis polianionik. Selama masa studi, ia juga aktif berkontribusi di berbagai organisasi dan pernah menjadi finalis pada Olimpiade Nasional Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam tingkat Perguruan Tinggi (ON-MIPA PT) bidang kimia. Ketertarikannya terhadap energi dan baterai ini membuat ia turut serta berkontribusi aktif menjadi anggota di Komisi Energi, Direktorat Penelitian dan Kajian, Perhimpunan Pelajar Indonesia Dunia (PPI Dunia) untuk periode 2020–2021. Penulis dapat dihubungi melalui: reyhanpuji97@liveuou.ac.kr

NAUFALDY OBIANKA PUTRA

Mendapatkan Sarjana Teknik Perminyakan Universitas Trisakti, Jakarta dan saat ini sedang melanjutkan program *Master of Science* (M.Sc) *in Energy Management* di Université de Poitiers, Prancis. Ketertarikan terhadap energi dan kepeduliannya terhadap lingkungan membuat ia aktif dalam pelatihan *acidizing* (pengasaman reservoir migas) dan memegang sertifikat *bilan carbone* (akuntansi karbon) dan *habilitation électrique français domaine TBT et BT* (akreditasi listrik Prancis tegangan sangat rendah dan rendah) memperkukuh pemahamannya tidak hanya pada energi fosil, namun juga energi terbarukan dan ketenagalistrikan. Saat ini, ia aktif menjadi anggota di Komisi Energi, Direktorat Penelitian dan Kajian, Perhimpunan Pelajar Indonesia Dunia (PPI Dunia) untuk periode 2020–2021. Penulis dapat dihubungi melalui: naufaldy.obianka.putra@etu.univ-poitiers.fr

Buku ini tidak diperjualbelikan.

RAHEL ETERLITA

Mendapatkan Sarjana Hubungan Internasional di Universitas Katolik Parahyangan, Bandung dan saat ini sedang melanjutkan program *Master of Arts* (MA) *in Management* dengan konsentrasi *Marketing* di Montpellier Business School, Prancis. Ia juga sedang menjalani program *work study* di perusahaan yang bergerak di bidang perubahan iklim. Selama studi, ia aktif berkontribusi di organisasi internasional seperti AIESEC. Tak hanya itu, ia juga pernah aktif berpartisipasi pada program *International student conference of sustainable rural development* dan program magang di Kementerian Luar Negeri Republik Indonesia. Ketertarikannya dalam transisi penggunaan energi berkelanjutan dan isu lingkungan membuat ia turut serta berkontribusi aktif dalam penulisan buku ini. Penulis dapat dihubungi melalui: r.eterlita@montpellier-bs.com

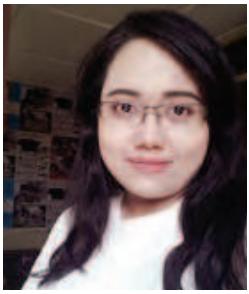
DODY IRAWAN

Menempuh pendidikan sarjana jurusan Pertambangan Batu bara di *China University of Mining and Technology* (CUMT), Tiongkok. Selama studi, ia juga aktif dalam berbagai kegiatan organisasi kemanusiaan dan kemahasiswaan. Ia aktif menjadi *volunteer* di Palang Merah Indonesia (PMI) dan diamanahi menjadi Ketua Umum di Perhimpunan Pelajar Indonesia Tiongkok (PPIT) ranting Kota Xuzhou. Ia juga pernah mendapatkan juara ketiga untuk lomba debat dalam Bahasa Inggris. Saat ini, ia berkontribusi aktif menjadi anggota di Komisi Energi, Direktorat Penelitian dan Kajian, Perhimpunan Pelajar Indonesia Dunia (PPI Dunia) untuk periode 2020–2021. Memiliki minat penelitian di bidang pertambangan hijau dan lingkungan tambang. Penulis dapat dihubungi melalui: dodyirawandy@gmail.com

Buku ini tidak diperjualbelikan.

ILHAM PUTRA ADIYAKSA

Mendapatkan Sarjana Teknik Pertanian di Universitas Brawijaya (UB), Malang. Saat ini ia sedang menempuh studi program *Master of Science* (M.Sc) *in Environmental Engineering and Water Use* di Tomsk Polytechnic University, Rusia. Selama studi, ia aktif dalam kegiatan laboratorium dan menjadi asisten. Selain itu juga pernah mendapatkan juara pertama pada *National Essay Competition* dengan tema *Zero Hunger* dan juara ketiga pada *National Essay Competition* dengan tema *Renewable Energy* di UB. Ia memiliki minat penelitian di bidang pascapanen dan pemanfaatannya untuk *renewable energy* dan lingkungan. Ketertarikannya dalam lingkungan dan energi berkelanjutan membuat ia turut serta berkontribusi aktif dalam penulisan buku ini. Penulis dapat dihubungi melalui: ilhamadiyaksa@gmail.com



YOHANA NORADIKA MAHARANI

Mendapatkan *Doctoral of Philosophy in Engineering* dan *Master of Engineering* di Chungbuk National University (CBNU), Korea Selatan pada *Major of System and CAE*. Ia juga mendapatkan Sarjana Teknik Arsitektur di Soegijapranata Catholic University, Semarang. Saat ini, ia adalah seorang *Research Fellow* di CBNU dan juga sebagai Dosen di Universitas Pembangunan Nasional (UPN) Veteran Yogyakarta. Ia memiliki minat penelitian di bidang energi, manajemen, dan pengurangan risiko bencana yang dilakukan di Wind Disaster Preparedness Laboratory, Korean Society of Volcanic Hazard Mitigation, Pusat Studi Manajemen Bencana dan Pusat Studi Manajemen Sungai-Pantai di UPN, maupun dalam berbagai kegiatan mengutamakan konsep pentahelix sebagai sinergi dalam penanggulangan bencana. Penulis dapat dihubungi melalui: yohananm@upnyk.ac.id

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAVID SETIAWAN SANJAYA

Mendapatkan Sarjana Teknik Arsitektur dari Universitas Kristen Petra, Surabaya. Kemudian, saat ini ia sedang menempuh studi *Master of Architecture* (M.Arch) di Tianjin University, Tiongkok. Selama masa studi, ia aktif berkontribusi di berbagai organisasi dan pernah menjadi *volunteer* delegasi di APEC Sustainable Energy Conference di Tiongkok. Saat ini, ia diamanahi menjadi Wakil Ketua di Perhimpunan Pelajar Indonesia di Tiongkok (PPIT) cabang Tianjin untuk periode 2020–2021 dan berkontribusi aktif menjadi anggota di Komisi Energi, Direktorat Penelitian dan Kajian, Perhimpunan Pelajar Indonesia Dunia (PPI Dunia) untuk periode 2020–2021. Selain itu, ketertarikannya di bidang panel surya membuat ia turut serta berkontribusi aktif dalam penulisan buku ini. Penulis dapat dihubungi melalui: m22414067@alumni.petra.ac.id

RIZKY GUSTI PRATIWI

Mendapatkan Sarjana Teknik Kimia dari Universitas Ahmad Dahlan (UAD), Yogyakarta. Ia juga memperoleh beasiswa kredit transfer DIKTI di Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering, Universiti Malaysia Pahang selama satu semester. Kemudian, saat ini ia sedang menempuh studi program *Master by Research* in *Chemical Engineering* di Khon Kaen University, Thailand dan memiliki minat penelitian tentang energi terbarukan, khususnya *biofuel production*. Ia aktif berkontribusi di berbagai organisasi dan merupakan founder dari Chem-e-car di UAD. Ketertarikannya terhadap energi terbarukan membuat ia turut serta berkontribusi aktif menjadi anggota di Komisi Energi, Direktorat Penelitian dan Kajian, Perhimpunan Pelajar Indonesia Dunia (PPI Dunia) untuk periode 2020–2021. Penulis dapat dihubungi melalui: rizkygustipratiwi@kkumail.com

Buku ini tidak diperjualbelikan.

ADAM PRAMANA FITRAH

Mendapatkan Sarjana Teknik Tenaga Listrik dari Institut Teknologi Bandung dengan tugas akhir di bidang optimalisasi sistem pembangkit listrik hibrida dengan penetrasi sistem pembangkit listrik tenaga surya. Kemudian, saat ini ia sedang menempuh studi program *Master of Science* (M.Sc) *in Energy Engineering* dengan spesialisasi dalam *Electrical Power Systems and High Voltage Engineering* di Aalborg University, Denmark. Selama masa studi, ia juga aktif berkontribusi pada kegiatan organisasi serta kegiatan laboratorium terkait sistem pembangkitan. Ketertarikannya terhadap energi dan sistem jaringan listrik pintar membuat ia turut serta berkontribusi aktif menjadi anggota di Komisi Energi, Direktorat Penelitian dan Kajian, Perhimpunan Pelajar Indonesia Dunia (PPI Dunia) untuk periode 2020–2021. Penulis dapat dihubungi melalui: aprama20@student.aau.dk

GHIFFARI ABY MALIK NASUTION

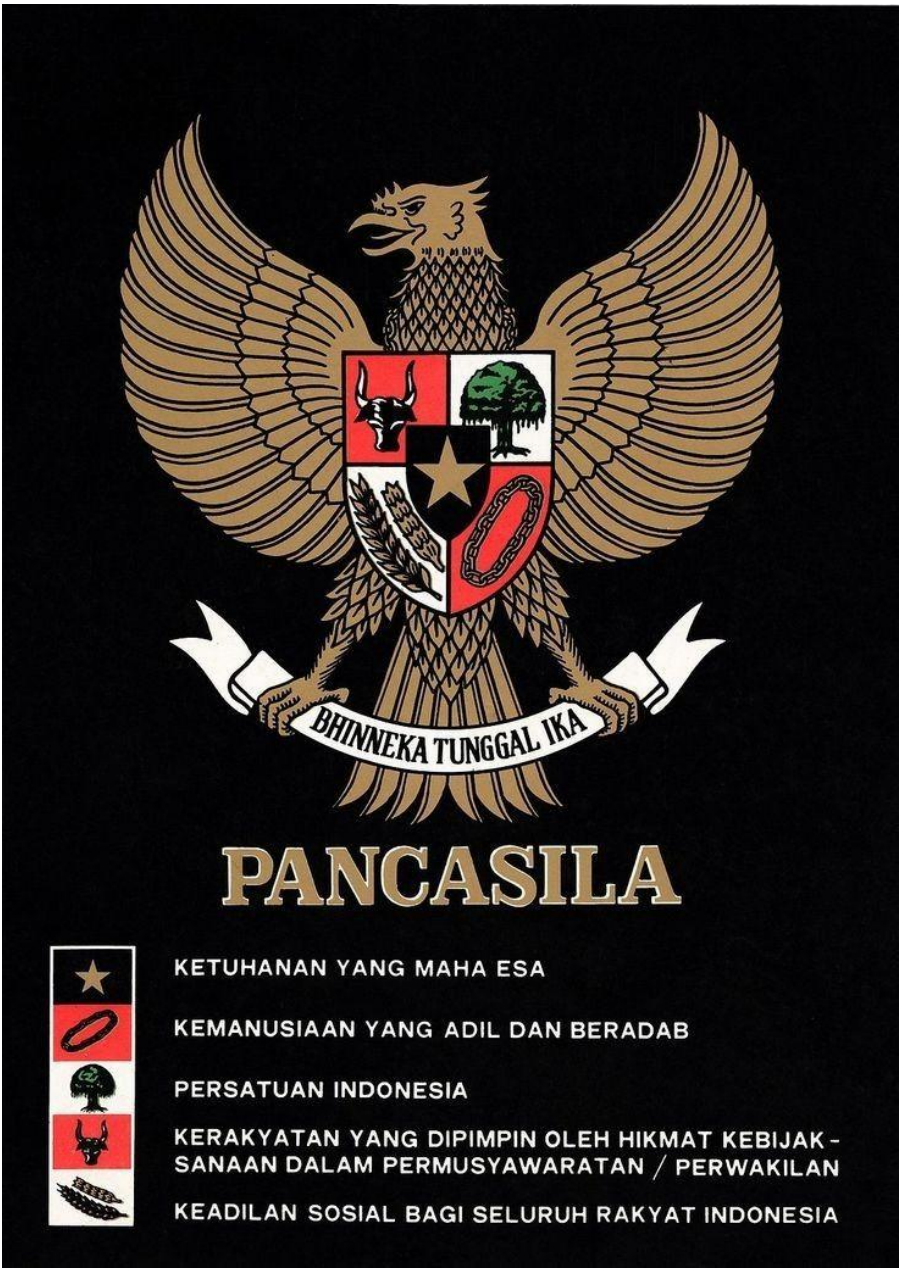
Mendapatkan *Bachelor of Engineering* (B.Eng) *in Transdisciplinary Science and Engineering* dari Tokyo Institute of Technology, Jepang. Kemudian, ia sedang menempuh studi program *Master of Engineering* (M.Eng) *in Energy Science and Engineering* di universitas yang sama. Selama masa studi, ia aktif dalam berbagai kegiatan laboratorium, organisasi, dan pernah menjadi Ketua di PPI di Tokyo Institute of Technology (PPI Tokodai) pada periode 2019–2020. Ia memiliki minat penelitian di bidang energi terbarukan, khususnya di sistem energi baru hibrida (*hybrid renewable energy system,* HRES). Ketertarikannya dalam energi berkelanjutan dan sistem hibrida membuat ia turut serta berkontribusi aktif dalam penulisan buku ini. Penulis dapat dihubungi melalui: nasution.g.aa@m.titech.ac.jp

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PARMAN

Mendapatkan Sarjana Teknik Mesin dari Universitas Mataram. Kemudian ia sedang menempuh studi program *Master of Science* (M.Sc) *in Energy Management* di Vistula University, Polandia dengan tesis berjudul "*The Long-Term Forecast of Indonesia's Energy Supply and Demand from 2020 to 2030: an Application of Leap Model*". Sebelumnya, ia pernah mempunyai pengalaman kerja di bidang h*eating, ventilation, and air conditioning* (HVAC); turbin; dan *quality control*. Ia memiliki minat di bidang energi terbarukan, efisiensi energi, dan transisi energi. Ketertarikannya dalam energi berkelanjutan membuat ia turut serta berkontribusi aktif dalam penulisan buku ini. Penulis dapat dihubungi melalui: pparman1@stu.vistula.edu.pl

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Buku ini tidak diperjualbelikan.

Struktur Direktorat Penelitian dan Kajian PPI Dunia 2020–2021

Koordinator PPID	:	Choirul Anam Charles University, Ceko
Direktur	:	Denny Irawan The Australian National University, Australia
Wakil Direktur		
1. Bidang Khusus	:	Gresika Bunga Sylvana City University of New York, Amerika Serikat
2. Bidang Sosial	:	Radityo Dharmaputra University of Tartu, Estonia
3. Bidang Sains dan Teknologi	:	Oscar Karnalim University of Newcastle, Australia
4. Bidang SDM dan Lingkungan Hidup	:	Muhammad Aswin Rangkuti University of Copenhagen, Denmark

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Indonesia Emas Berkelanjutan 2045: Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia

LIPI Press berkolaborasi dengan Perhimpunan Pelajar Indonesia (PPI) Dunia menerbitkan rangkaian buku seri *Indonesia Emas Berkelanjutan 2045: Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia*. Rangkaian bunga rampai ini terdiri dari 12 buku dengan sejumlah topik yang mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan atau *Sustainable Development Goals* (SDGs) untuk mencapai tujuan Indonesia Emas 2045.

Indonesia Emas Berkelanjutan 2045: Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia

Seri 1: Ekonomi

Editor: Krisna Gupta & Enny Susilowati Mardjono

https://doi.org/10.14203/press.357

Seri 2: Kebudayaan

Editor: Adrian Perkasa & Diandra Pandu Saginatari

https://doi.org/10.14203/press.363

Seri 3: Hubungan Internasional

Editor: Fauziah Rohmatika Mayangsari, Pasha Aulia Muhammad, & Radityo Dharmaputra

https://doi.org/10.14203/press.366

Seri 4: Hukum

Editor: Jurisdito Hutomo Hardy, Tiara Costiawati Gusman, & Edmond Febrinicko Armay

https://doi.org/10.14203/press.398

Indonesia Emas Berkelanjutan 2045: Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia

Seri 5: Pendidikan

Editor: Afifah Muharikah, Athifah Utami, & Randi Proska Sandra

https://doi.org/10.14203/press.374

Seri 6: Kesehatan

Editor: Anthony Paulo Sunjaya & Sandy Ardiansyah

https://doi.org/10.14203/press.364

Seri 7: Lingkungan

Editor: Radityo Pangestu, Raisa Rifat, Desy A. Prihardini, & Februriyana Pirade

https://doi.org/10.14203/press.359

Seri 8: Energi

Editor: Sindu Daniarta & Nuralfin Anripa

https://doi.org/10.14203/press.360

Indonesia Emas Berkelanjutan 2045: Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia

Seri 9: Teknologi

Editor: Ahmad Sony Alfathani, Muhammad Ali, & Rilwanu Ar Roiyyaan

https://doi.org/10.14203/press.383

Seri 10: Pangan

Editor: Hilmy Prilliadi & Siti Mustaqimatud Diyanah

https://doi.org/10.14203/press.368

Seri 11: Maritim

Editor: Ratna Nur Inten, Salsyabilla Ika Putri Aryaningrum, & Aries D. Siswanto

https://doi.org/10.14203/press.373

Seri 12: Timur Tengah

Editor: Muhammad Luthfi Hidayat, Muhamad Rofiq Muzakkir, & Nur Fajri Romadhon

https://doi.org/10.14203/press.348

PPI DUNIA

Perhimpunan Pelajar Indonesia se- Dunia

Overseas Indonesian Students
Association Alliance

INDONESIA EMAS BERKELANJUTAN 2045

Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia

LIPI Press berkolaborasi dengan Perhimpunan Pelajar Indonesia (PPI) Dunia menerbitkan rangkaian buku seri *Indonesia Emas Berkelanjutan 2045: Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia*. Rangkaian bunga rampai ini terdiri dari 12 buku dengan sejumlah topik yang mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan atau *Sustainable Development Goals* (SDGs) untuk mencapai tujuan Indonesia Emas 2045. Buku ini merupakan seri kedelapan dari rangkaian tersebut.

Seri Energi mendukung poin ke-7 SDGs, yakni "akses energi yang terjangkau, dapat diandalkan, berkelanjutan, dan modern yang merata bagi masyarakat dunia". Bunga rampai ini terbagi menjadi tiga subtema, yaitu dinamika energi di Indonesia saat ini dan di masa depan, teknologi percepatan energi terbarukan dalam bauran energi Indonesia 2050, dan percepatan energi terbarukan untuk *smart city*. Ketiga subtema tersebut sangat penting untuk menentukan keberlanjutan energi di Indonesia pada tahun 2050, mulai dari kebijakan, keadilan distribusi listrik, hingga konsumsi energi. Keberhasilan tersebut perlu didukung sektor terkait lainnya, seperti masyarakat dan seluruh pemangku kepentingan.

Buku ini diharapkan dapat menjadi bacaan yang bermanfaat bagi masyarakat Indonesia, khususnya para pemangku kepentingan di bidang pembangunan dan pengelolaan energi. Temukan beragam sudut pandang baru terkait upaya pembenahan sektor energi di Indonesia. Selamat membaca!

LIPI

Diterbitkan oleh:
LIPI Press, anggota Ikapi
Gedung PDDI LIPI Lt. 6
Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta Selatan 12710
Telp.: (021) 573 3465 | Whatsapp 0812 2228 485
E-mail: press@mail.lipi.go.id
Website: lipipress.lipi.go.id | penerbit.lipi.go.id

DOI 10.14203/press.360

ISBN 978-602-496-215-9

ISBN 978-602-496-207-4

Buku ini tidak diperjualbelikan.